

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Энергетический институт

Направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривода и электрооборудования (ЭПЭО)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы				
Регулируемый электропривод вентилятора главного проветривания шахт на базе машины двойного питания				

УДК 62 – 83 – 52:622.45

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Миролюбов В.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Завьялов В.М.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.кафедрой ЭПЭО доцент	Дементьев Ю.Н.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации</i> научно-исследовательских и производственных работ, в <i>управлении</i> коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах <i>научного познания и творчества</i> , роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением <i>современных информационных технологий</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить <i>техничко-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные</i> работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Энергетический
Направление – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Ю.Н. Дементьев
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Миролюбову Владимиру Анатольевичу

Тема работы:

Регулируемый электропривод вентилятора главного проветривания шахт на базе машины двойного питания
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>В магистерской диссертации проведены: Обзор литературных источников, обзор различных видов шахтных вентиляторов; Выбор оборудования и расчет основных характеристик; Имитационное моделирование системы частотного регулирования асинхронного двигателя для вентиляторной установки главного проветривания шахт; Экономическая часть; Социальная ответственность.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Презентация по защите магистерской диссертации</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	

Раздел	Консультант
<i>Основной обций и специальный разделы ВКР</i>	<i>Научный руководитель Завьялов В.М.</i>
<i>Экономическая часть ВКР</i>	<i>Кузьмина Н.Г.</i>
<i>Раздел экология и техника безопасности</i>	<i>Дашковский А.Г.</i>
<i>Раздел на иностранном языке</i>	<i>Пташкин А.С.</i>
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<i>Основная и специальная части, «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность» – русский язык</i>	
<i>На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:</i>	
<i>Введение</i>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор каф. ЭПЭО	Завьялов В.М.	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Миролубов В.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Миролюбов Владимир Анатольевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения.	Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. Помещение имеет искусственный и естественный источник освещения. Основное рабочее оборудование – ПЭВМ, ЭП, ВУ. (*)
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов.	1) ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Технический регламент по социальной; 2) N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" 3) N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда"

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	Вредные факторы: 1. Шум от работы ЭВМ, ЭП; 2. Вибрации от ЭП;
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	Опасные факторы: 1. Поражение электрическим током; 2. Пожаропасность;
3. Экологическая безопасность	Основным воздействием на окружающую среду являться бытовые отходы и отходы возникающие при обслуживании оборудования, которые должны подвергаться утилизации.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	Перечень возможных ЧС на объекте: Пожарная опасность (*)
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Социальные гарантии по компенсации для работника.

Перечень графического и инструктивного материалов:

--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.	к.т.н., Доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Миролюбов Владимир Анатольевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Миролюбову Владимиру Анатольевичу

Институт		Кафедра	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/Электроприводы и системы управления электроприводов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад инженера 9р – 17000 руб. Оклад НР – 30000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизации – 20 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальные отчисления – 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Планирование работ и их временной оценки
2. Разработка устава научно-технического проекта	Смета затрат на проектирование
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Смета затрат на оборудование
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Экономическая эффективность проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Миролюбов В.А.		

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	10
1. Шахтные вентиляторы.....	11
1.1. Конструкции шахтных вентиляторов	15
1.1.1. Осевые вентиляторы	15
1.1.2. Центробежные вентиляторы	17
1.2. Параметры шахтных вентиляторов	19
1.3. Вентиляторы главного и местного проветривания	20
1.3.1. Осевые вентиляторы главного проветривания	20
1.3.2. Центробежные вентиляторы главного проветривания	21
1.3.3. Вентиляторы местного проветривания	21
2. Расчет и определение параметров двигателя центробежного вентилятора главного проветривания шахт.....	26
2.1. Определение параметров Т – образной схемы асинхронного двигателя.....	26
2.2. Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик.	31
2.3. Расчёт искусственных механических и электромеханических характеристик привода	34
3. Имитационное моделирование системы частотного регулирования асинхронного двигателя для вентиляторной установки главного проветривания шахт	39
3.1. Имитационное моделирование пуска с помощью роторных резисторно- контакторных станций асинхронного двигателя	39
3.2. Разработка имитационной модели асинхронного двигателя частотного регулирования для вентиляторной установки главного проветривания шахт на базе машины двойного питания	42

4. Социальная ответственность при анализе эксплуатационных характеристик электропривода трубопроводной арматуры для регулирования расхода газа ...	49
4.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	49
4.1.1. Вредные факторы	49
4.1.2. Опасные факторы	53
4.1.3. Экологическая безопасность.....	55
4.1.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	56
4.2. Социальные гарантии для работника.....	59
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	62
5.1. Планирование работ и их временной оценки.....	62
5.2. Расчет затрат на научно-техническое проектирование.....	64
5.2.1. Материальные затраты	64
5.3. Экономическая эффективность проекта.....	67
Заключение	70
Список литературы	72
Приложение А	74
Приложение Б	93

Реферат

Выпускная квалификационная работа 93 страниц, 28 рисунков, 6 таблиц, 22 источника, 2 приложения. Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, скалярное управление, вентилятор главного проветривания шахт, машина двойного питания, асинхронный двигатель с фазным ротором, преобразователь частоты, регулирование скорости. Объектом исследования является регулируемый электропривод вентилятора главного проветривания шахт на базе машин двойного питания. Цель работы – имитационное моделирование регулируемого электропривода вентилятора главного проветривания шахт на базе машин двойного питания.

В результате был исследован регулируемый электропривод вентилятора главного проветривания шахт на базе машин двойного питания. Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: полностью соответствующие заданию.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 на листах белой бумаги формата А4 с помощью программных средств Matlab, Mathcad.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что электроприводами расходуется более 60% всей вырабатываемой в мире электроэнергии, причем большая часть из них – это электроприводы общепромышленных механизмов (вентиляторов, насосов, транспортеров, компрессоров и т.п.), а также электроприводы различных технологических установок, не требующие большого диапазона регулирования и высокого быстродействия и оборудованные электродвигателями переменного тока. Использование двигателей постоянного тока в подобных установках, имеющих возможность построения относительно простой системы управления и обладающих подходящими регулировочными характеристиками, как правило, ограничено непропорционально большими эксплуатационными затратами, невозможностью работы во взрывоопасных, загрязненных и агрессивных средах и невысокой надежностью.

Большинству технологических процессов необходима возможность регулирования поступающей механической мощности. При нерегулируемом электроприводе оно обычно выполняется за счет управляемого изменения в самом технологическом процессе. К примеру, в компрессорах, насосах, вентиляторах – путем закрытия и открытия заслонок, в металл – и деревообрабатывающих станках – применением механических коробок передач. Тем не менее подобные технические решения невозможно считать экономически эффективными. Как показала практика, при применении регулируемого электропривода по сравнению с нерегулируемым можно сэкономить до (30...60) % потребленной электроэнергии. Кроме того, увеличивается срок службы механических узлов, за счет уменьшения пусковых токов и бросков момента [4].

В связи с перечисленными недостатками нерегулируемого электропривода, цивилизованный мир активно переходит на использование регулируемого электропривода переменного тока. Это связано, преимущественно, с развитием соответствующей элементной базы: силовой полностью управляемой полупроводниковой техники, микроэлектроники и

микропроцессорной техники, а также становлением теоретических основ – теории векторного управления электроприводами переменного тока, теории автоматического управления многосвязными нелинейными объектами. Все это позволяет реализовать построение эффективных систем управления электроприводами переменного тока.

Асинхронные двигатели с фазным и короткозамкнутым ротором, являются основными машинами переменного тока средней и большой мощности, применяющимися в промышленности.

Исследования в области действующего электрооборудования отечественных промышленных предприятий показывают широкое применение асинхронных двигателей с фазным ротором в мощных (более 300 кВт) механизмах. К таким механизмам относятся электропривода вентиляторов главного проветривания шахт и рудников, электропривода подъемно-транспортных механизмов, электропривода главного движения вращающихся цементных печей и пр.).

1. ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ

Шахта – подземное горное предприятие, технология которого сопряжена с необходимостью проведения рабочих процессов, в результате которых в атмосферу горных выработок выделяется большое количество вредных веществ в виде газов и пыли. Ситуация усугубляется дополнительным выделением газов из полезного ископаемого и пород. Появляется необходимость борьбы с этими вредными веществами путем снижения их концентрации до безопасных значений подаваемым в выработки воздухом. Проветривание – процесс, без которого нормальная работа шахты немыслима даже в течение самого короткого промежутка времени [1].

Подача воздуха в горные выработки шахты должна быть непрерывной и в полном необходимом объеме. Это требование предопределяет необходимость использования мощных, надежных машин. Более того, Правила безопасности

предусматривают необходимость обеспечения возможности оперативной замены вышедшего из строя вентилятора резервным. Для шахт и рудников это требование является обязательным.

Аварийные ситуации, возникающие в шахтах (пожары, взрывы газа и пыли, обрушения горных пород) часто требуют проведения действий по управлению воздушной струей в количественном отношении (ослабление струи, усиление) и по изменению направления ее движения.

Воздух в подземных горных выработках шахт из-за его ограниченного объема легко насыщается различными вредными веществами техногенного и природного характера. Превышение допустимых концентраций вредных веществ опасно для жизни и здоровья рабочих в выработках и ограничивает возможность проведения производственных процессов. Основным способом борьбы с вредными веществами в подземных горных выработках – их смешивание со свежим воздухом, подаваемым с поверхности в выработки до допустимых концентраций.

В наше время невозможно горное предприятие без системы принудительной вентиляции. Остановка подачи свежего воздуха в шахту влечет за собой прекращение производственных процессов всего технологического комплекса рудника или шахты, прекращению работы всех механизмов и машин, а также к выводу людей на поверхность. От безотказной и надежной работы системы проветривания полностью зависит жизнь и безопасность людей в шахте.

Возникновение движения воздуха в подземных горных выработках шахт объясняется наличием в этом объеме зон, с высоким энергетическим уровнем в сравнении с уровнем, требуемым для состояния покоя. Воздух движется от зоны с высоким уровнем энергии к зонам с меньшим уровнем [1].

Для создания зон с различными уровнями энергии необходим источник сторонних сил. В конечном итоге, интенсивность движения воздуха зависит от уровня и наличия этих сил.

Из всех этих сил, которые могут быть применены в шахтных условиях, стоит обратить внимание на основные – силы, возникающие при работе вентиляторов, и силы, связанные с законом гравитации. К силам, связанные с законом гравитации, относят естественную тягу, возникающую при движении полезного ископаемого и большого объема воды в наклонных выработках.

В связи с необходимостью наличия в шахтных условиях надежного и управляемого источника сил необходимой мощности, в качестве основного источника этих сил используется вентилятор.

Вентилятор – это механическая установка, создающая разность давлений в вентиляционной сети на входе и выходе из нее, за счет чего происходит движение воздушных масс.

Вентиляторные установки широко применяются во всех промышленных отраслях. Как известно электроприводами потребляется большое количество электроэнергии, вырабатываемой в нашей стране. К примеру, в горной отрасли на электропривода вентиляторных установок, которые обеспечивают шахту свежим воздухом, уходит до 10% электроэнергии расходуемым всем технологическим комплексом. По этой причине, разработка экономически эффективных вентиляторов и корректное их эксплуатация имеет большое экономическое значение [19].

Вентиляционная система – это техническая система, которая поддерживает значения параметров воздушной среды в ограниченных объемах (помещениях, горных выработках и др.) в соответствии с технологическими требованиями и установленными санитарными нормами. Вентиляционная система состоит из четырех основных подсистем: вентиляционная установка, вентиляционная сеть, вентиляционные устройства, а также контроль и управление.

Вентиляционные сети шахт представляют собой совокупность большого количества подземных горных выработок, которые в свою очередь отличаются разнообразием параметров, влияющих на аэродинамику этих сетей. А так как эти параметры постоянно меняются, соответственно, меняется и аэродинамика сетей.

Форма поперечного сечения выработок может сильно различаться, величина этого сечения колеблется от 3,0 – 4,0 до 30,0 – 40,0 м². Так же в широких пределах колеблется протяженность выработок, иногда доходя до нескольких тысяч метров. От размера и вида крепи зависит степень шероховатость стенок выработки, которая влияет на величину аэродинамического сопротивления и тоже меняется в больших пределах.

Потребители воздуха в шахте отличаются большим разнообразием как по времени подачи воздуха, так и по его необходимому количеству. В качестве потребителя может фигурировать как вся или значительная часть шахты, так и отдельная выработка.

Все эти условия привели к необходимости создания группы специализированных шахтных вентиляторов, отвечающих по своим параметрам запросам горной отрасли.

Основное отличие шахтных вентиляторов от вентиляторов, применяющихся в других отраслях промышленности – большая производительность при довольно высоких параметрах по давлению. Производительность этих вентиляторов может достигать до 500÷600 м³/с, величина разности давления, создаваемая шахтными вентиляторами, ограничивается значением 0,5÷10,0 кПа. Степень сжатия воздуха вентилятором – 1,1. Это позволяет считать воздух несжимаемым в расчетах, связанных с работой вентилятора.

По своему назначению шахтные вентиляторы условно подразделяются на три группы:

- главные вентиляторы, обслуживающие вентиляционную сеть всей шахты или большей ее части;
- вспомогательные вентиляторы, обслуживающие значительную часть вентиляционной сети шахты или работающие совместно с главным;
- вентиляторы местного проветривания, обеспечивающие воздухом отдельный забой, выработку или рабочее место.

В качестве главных и вспомогательных могут применяться одни и те же вентиляторы значительных размеров. Вентиляторы местного проветривания составляют отдельную группу вентиляторов, отличающихся небольшими размерами, малой мощностью привода и, как правило, небольшой производительностью.

1.1.Конструкции шахтных вентиляторов

Все выпускающиеся для горной отрасли вентиляторы относятся по конструкции к так называемым «лопастным нагнетателям». В вентиляторах этого типа энергия вращающегося ротора преобразовывается в потенциальную и кинетическую, в свою очередь сообщаемые перемещаемому воздуху.

Лопастные вентиляторы в соответствии с характером движения воздуха в них и формы ротора (рабочего колеса) подразделяются на осевые и радиальные, последние более известны как центробежные.

1.1.1. Осевые вентиляторы

Осевой вентилятор (рис.1) состоит из рабочего колеса 1, на втулке которого закреплены профильные (в форме крыла самолета) лопасти 2; рабочее колесо вращается в цилиндрическом корпусе или, как его часто называют, кожухе 3. За рабочим колесом располагается спрямляющий аппарат с неподвижными лопастями 4.

Вращающееся рабочее колесо с помощью лопаток передает энергию привода перемещаемому воздуху. Лопатки рабочих колес изготавливаются из стали или пластмасс (для вентиляторов малых размеров).

Лопасти рабочего колеса могут иметь несимметричный или симметричный профиль. Осевые вентиляторы с лопастями рабочих колес симметричного типа являются реверсивными, поскольку их производительность не меняется при изменении направления вращения рабочего колеса на обратное. Вентиляторы с

рабочими лопастями несимметричного типа этим качеством не обладают, их производительность при изменении направления вращения рабочего колеса резко снижается, но эти вентиляторы имеют хорошие аэродинамические характеристики и повышенный коэффициент полезного действия. Спрямяющий аппарат обеспечивает плавный переход воздуха от лопастей рабочего колеса к выходу в диффузор или сеть и частично преобразует динамическое давление в движущемся потоке воздуха в статическое давление.

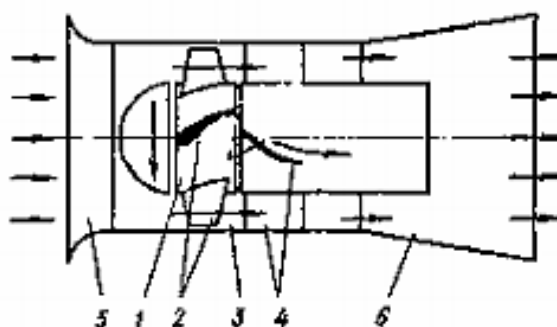


Рисунок 1 – Схема осевого вентилятора: 1 – рабочее колесо; 2 – лопасти рабочего колеса; 3 – кожух; 4 – спрямляющий аппарат; 5 – коллектор; 6 – диффузор

В конструкцию шахтных вентиляторов вводятся два обтекателя, назначение которых заключается в снижении аэродинамических потерь, связанных с резким изменением скоростей движения воздуха. Передний обтекатель устанавливается во входном коллекторе, перед рабочим колесом или направляющим аппаратом, задний – после спрямляющего аппарата, перед диффузором или входом в вентиляционную сеть.

В осевых вентиляторах направление движения воздушного потока совпадает с осью вращения рабочего колеса. Воздух засасывается в коллектор 5, проходит между лопасти вращающегося рабочего колеса, затем поступает в спрямляющий аппарат, оттуда в диффузор 6 и выбрасывается в атмосферу (при работе вентилятора на всасывание).

Осевые вентиляторы могут быть одноступенчатыми (с одним рабочим колесом) и двухступенчатыми. В последнем случае в кожухе вентилятора

находятся две ступени, работающие последовательно и имеющие каждая свое рабочее колесо.

Между рабочими колесами находится промежуточный направляющий аппарат. Конструктивно направляющий аппарат состоит из неподвижных профильных лопаток или профильных лопатки с регулируемым углом установки. Назначение направляющего аппарата – подача воздуха к рабочему колесу, установленному за ним в определенном, более эффективном направлении, и преобразование значительной части динамического давления в статическое давление. Спрямяющий аппарат устанавливается за вторым рабочим колесом по ходу струи. Обе ступени могут находиться на одном валу или на отдельных валах. Наличие двух ступеней позволяет вентилятору развивать более высокое давление.

1.1.2. Центробежные вентиляторы

Основу вентилятора (рис.2) составляет рабочее колесо 1, между передним и задним дисками которого закреплены профильные крыловидные лопатки таким образом, что их входная кромка располагается на окружности меньшего радиуса, чем выходная хвостовая часть. Рабочее колесо может быть с лопасти, загнутыми вперед по ходу колеса, радиальными и загнутыми назад, назначение рабочего колеса – передавать энергию привода вентилятора перемещаемому воздуху. Рабочее колесо вращается в спиральном кожухе 2, выполненном из листовой стали. Спиралеобразный кожух предназначен для подачи воздуха в определенном направлении и частичного преобразования динамического давления в потоке воздуха в статическое давление. Воздух засасывается в вентилятор через входной коллектор 3, в котором установлены не вращающиеся, а только поворачивающиеся каждая относительно своей оси лопасти 4 направляющего аппарата. Направляющий аппарат предназначен для подачи воздуха к рабочему колесу с определенной скоростью и под определенным углом, это позволяет регулировать рабочие режимы вентилятора.

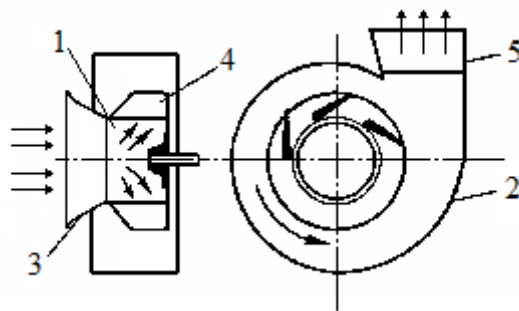


Рисунок 2 – Схема центробежного вентилятора: 1– рабочее колесо; 2 – спиральный кожух; 3 – входной коллектор; 4 – лопатки направляющего аппарата; 5 – диффузор.

В рабочее колесо воздух входит параллельно оси вала вентилятора, затем под действием тяги, развиваемой лопатками, и центробежной силы поворачивает на 90° , проходит между лопатками, выбрасывается в периферийную часть кожуха и выходит через диффузор 5 в атмосферу (при работе вентилятора на всасывание). Диффузор является дополнительным преобразователем динамического давления в потоке на выходе из кожуха в давление статическое.

Центробежные вентиляторы могут выполняться с односторонним или двусторонним всасыванием. В последнем случае на валу вентилятора устанавливается спаренное рабочее колесо, соединенное втулками большего диаметра. Воздух поступает на рабочее колесо с двух сторон, из двух направляющих аппаратов. Двустороннее всасывание позволяет разгрузить подшипники вала от осевого давления и уменьшить сопротивление движущемуся воздуху во всасывающей части. Последнее обстоятельство позволяет увеличить производительность центробежного вентилятора.

Достоинства осевых вентиляторов:

- относительная простота конструкции;
- простота монтажа, меньшая площадь под установку;
- простота реверса воздушной струи (большинство современных осевых вентиляторов вообще не нуждаются в устройстве реверсивных каналов);
- относительно высокая производительность;
- более высокий коэффициент полезного действия;

- удобство применения вентиляторов этого типа в качестве передвижных вентиляторов местного проветривания.

Достоинства центробежных вентиляторов:

- высокая механическая надежность и большой срок службы, связанные с применением более низких скоростей вращения рабочего колеса;
- высокая устойчивость и надежность рабочих режимов, связанные с видом характеристик этих вентиляторов;
- меньшая шумность при работе;
- относительно высокая депрессия;
- большая глубина регулирования;
- меньшая чувствительность к загрязненному воздуху.

Выпускаемые для горной отрасли вентиляторы могут одинаково эффективно работать как на всасывание, так и на нагнетание.

1.2.Параметры шахтных вентиляторов

Вентиляторы, выпускаемые для работы в системах проветривания шахт, различаются не только по конструкции и назначению, но и своими параметрами , обуславливающими их использование в тех или иных условиях.

Основными параметрами вентиляторов являются их производительность, развиваемое давление, диаметр рабочего колеса, потребляемая мощность, коэффициент полезного действия, окружная скорость рабочего колеса, угол поворота лопаток рабочего колеса и (или) направляющего аппарата.

Именно эти параметры определяют возможность и целесообразность применения конкретного вентилятора для работы в конкретной вентиляционной сети.

В горной практике для характеристики параметров вентиляторов вместо термина «давление» чаще используется понятие «депрессия».

Условно из этой группы можно выделить параметры эксплуатационные – производительность и депрессию, как основные. Эти два параметра объединяются в одно общее понятие – режим работы вентилятора. Три другие параметра – диаметр рабочего колеса, окружная скорость вращения рабочего колеса и угол поворота лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата называются регулировочными. Изменение величины любого из них приводит к изменению эксплуатационных параметров. Мощность на валу вентилятора и его коэффициент полезного действия можно отнести к производным параметрам, зависимым от совокупности остальных параметров вентилятора.

1.3. Вентиляторы главного и местного проветривания

1.3.1. Осевые вентиляторы главного проветривания

Первые разработки аэродинамических конструкций вентиляторов в нашей стране была выполнена Центральным аэрогидродинамическим институтом в конце двадцатых годов прошлого столетия, а первые вентиляторы, основанные на этих конструкциях в форме промышленных серий, появились в середине тридцатых годов.

В годы развития горнодобывающей промышленности страны, осевые вентиляторы получили широкое распространение благодаря несомненным достоинствам этого типа - высокой производительности при относительно низкой депрессии, компактности и простоте установки и эксплуатации.

Текущие осевые вентиляторы, естественно, превосходят первые разработки во многих параметрах. Модельные разновидности и размеры позволяют использовать этот тип вентилятора для самых различных задач. Они могут использоваться для вентиляции одиночной выработки, для вентиляции части шахты или для работы в качестве основного вентилятора на крупной

шахте. Ряд типовых размеров осевых вентиляторов находится в диапазоне рабочих колес от 300 до 5000 мм.

1.3.2. Центробежные вентиляторы главного проветривания

Принцип работы и схемы центробежных вентиляторов был разработан и применены впервые российским инженером А.А. Саблуковым в 1832 году. Им была построена и применена вентиляционная установка для работы на Чигиринском руднике Алтая.

Однако разработка современных шахтных центробежных вентиляторов со временем отстала от развития осевых вентиляторов, так как центробежные вентиляторы хорошо работают, когда существует потребность в высокой депрессии, чего не было в первом периоде развития подземной добычи полезных ископаемых.

В настоящее время центробежные вентиляторы широко распространены из-за увеличения глубины шахт и аэродинамического сопротивления их сетей.

Промышленные центробежные модели вентиляторов охватывают несколько типов с рабочим диаметром колеса от 0,8 до 5,0 м.

1.3.3. Вентиляторы местного проветривания

Главные вентиляторы, обычно, обеспечивают потребность шахты на свежем воздухе, но они гарантируют движение воздушного потока только по сквозным выработкам в шахтной вентиляционной сети. Так же в шахте есть большое количество потребителей, которые находятся в тупиковых выработках. К этим потребителям относятся призабойные пространства выработок, находящихся на стадии проветривания, различные технологические камеры и другие. Воздух для этих потребителей может быть выполнен с помощью специальных вентиляторов, называемых локальными вентиляторами.

Вентилятор местного должен отличаться от вентилятора главного проветривания. Условия их установки, работы и требования к правилам безопасности диктуют различия. Значения параметров работы и конструктивных особенностей местных вентиляторов определяются различиями.

Вентиляторы местной вентиляции должны быть компактными, так как они расположены в выработках, площадь поперечного сечения которых может быть очень ограниченной. Специальные камеры, в которые они устанавливаются, производятся только для больших вентиляторов емкостью 10 м³/с или более.

Вентилятор местной вентиляции работает всегда с трубопроводом, через который они подают (или отсасывают) воздух потребителю. Трубопроводы могут иметь разные диаметры и конструкции. Возможность надежного соединения с трубопроводом - еще одна особенность этих вентиляторов.

В угольных шахтах, вентилируемых вентиляторами местной вентиляции, могут быть выбросы метана. Это обстоятельство предопределяет еще одну особенность вентиляторов локального проветривания: они должны иметь взрывозащищенное исполнение.

Шахтные вентиляторные установки представляют собой комплекс работающих совместно сложных систем – двух вентиляторных агрегатов, вентиляционных каналов реверсивного устройства и подвода воздуха к вентилятору. Вентиляторные агрегаты оснащены мощными и сложными машинами, системы вентиляторных каналов имеют вспомогательные устройства, работающие совместно или независимо. При пуске агрегатов, смене работающего вентилятора на резервный, реверсировании вентиляционной струи надо выполнить большое количество операций с соблюдением определенной последовательности, исключая возможность ошибок. Для обеспечения нормальной работы вентиляторных установок на сеть в необходимом режиме требуется поддерживать большое количество параметров самой вентиляторной установки – температуру подшипников привода и ротора вентилятора, температуру обмоток привода, обороты вала, режим работы привода, работу системы смазки и т.п.

Все это приводит к необходимости иметь в составе шахтной вентиляторной установки набор аппаратуры, позволяющей автоматически управлять установкой, в том числе дистанционно, и контролировать все необходимые параметры.

Аппаратура управления, автоматизации и контроля шахтной вентиляторной установки – это комплекс сложных, работающих совместно систем, дополненный вспомогательными устройствами и механизмами. Системы работают в постоянно меняющихся комбинациях с определенной заданной последовательностью операций, осуществляя выполнение этой последовательности без вмешательства оператора.

Применение в вентиляторных установках главного проветривания электроприводов на базе асинхронных двигателей с фазным ротором с резисторными релейно-контакторными системами управления объясняется большими значениями пускового тока асинхронных двигатели с фазным ротором, а также простотой регулирования за счет введения в цепь ротора добавочных активных сопротивлений. С теоретической точки зрения для электрического регулирования частоты вращения асинхронного двигателя с фазным ротором возможно закортить обмотку ротора, а статорную обмотку подключить к преобразователю частоты, тем самым получив широко известный электропривод на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Тем не менее большинство мощных асинхронных двигателей с фазным ротором имеет питание от промышленной сети 6 – 10 кВ, что потребует применения преобразователя частоты с соответствующим выходным линейным напряжением. Текущий уровень развития силовой полупроводниковой электроники требует построения такого преобразователя на базе многоуровневого преобразователя частоты, обладающего высокой стоимостью. Более дешевым вариантом является установка преобразователя частоты в роторную цепь, линейное напряжение которой, обычно, составляет 500 – 1000 В. Статорная обмотка при этом питается от промышленной сети 6 – 10 кВ. Такое

включение асинхронного двигателя с фазным ротором носит название «машина двойного питания».

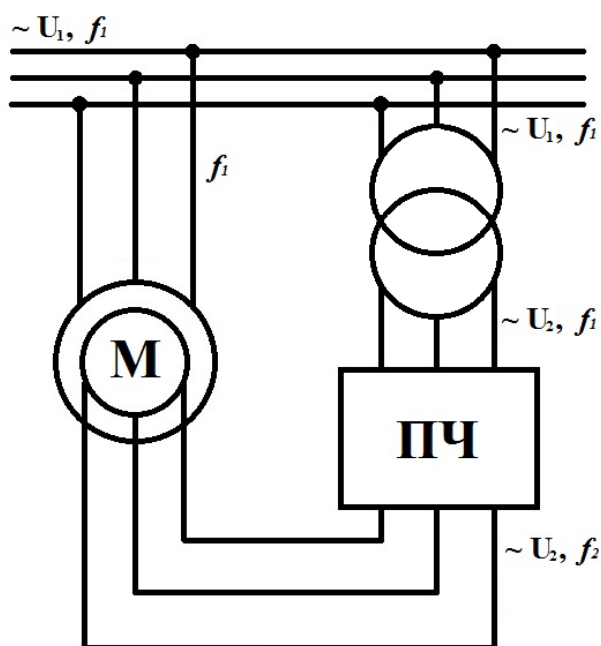


Рисунок 3 – Машина двойного питания.

Такой электропривод с преобразователем частоты в роторе электродвигателя может работать в тормозном и двигательном режимах. В двигательном режиме преобразователь частоты должен обеспечивать возврат мощности скольжения из роторной цепи асинхронного электродвигателя в питающую сеть. Возврат мощности скольжения в питающую сеть обеспечивает значительную экономию электроэнергии при пуске и регулировании скорости асинхронных электродвигателей с фазным ротором по сравнению с реостатным регулированием скорости.

Разработка теории применения машин двойного питания, принципов аппаратного исполнения электроприводов на базе этих машин началась с середины прошлого века [2,3]. Основы теории представлены в работах советских и российских ученых М.М. Ботвинника, Ю.Г., Н.Н. Блоцкого Шакаряна, И.А. Лабунец, О.С. Хватова и других. Теоретические исследования и эффективность применения машины двойного питания были подтверждены на промышленных установках большой мощности, созданных в СССР [5].

Современный электропривод переменного тока, как правило, включает в себя двухзвенный преобразователь частоты, выпрямитель в котором нагружен на автономный инвертор напряжения, работающий в режиме широтно-импульсной модуляции. Указанное устройство преобразователя частоты позволяет независимо от режимов работы электропривода обеспечить высокий коэффициент мощности силовой цепи.

2. РАСЧЕТ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ

Исследования по применению машины двойного питания в мощных механизмах будут производиться на вентиляционной установке ВЦД47У. ВЦД47У используется для главного проветривания шахт и рудников угольной и горнодобывающей промышленности с потребным расходом воздуха до 590 м³/с и давлением до 830 даПа. Наиболее часто вентиляторы ВЦД47У используются для проветривания глубоких (600-1600 м) труднопроветриваемых угольных шахт и рудников с большой протяженностью подземных выработок.

ВЦД47У имеет три исполнения в зависимости от типа используемого электропривода:

1. с нерегулируемым асинхронным электроприводом (ВЦД47У-Н);
2. с регулируемым асинхронным электроприводом (ВЦД47У-Р);
3. с нерегулируемым синхро-асинхронным электроприводом (ВЦД47У-НС).

Вентиляционная установка главного проветривания шахт содержит два вентилятора типа ВЦД-47У. Для исключения перерывов в работе вентиляционная установка один вентилятор находится в работе, второй – в горячем резерве. Каждый вентилятор ВЦД-47У приводится в движение двумя асинхронными электродвигателями с фазным ротором типа АКН2-18У3 (АКН2-18-43-12УХЛ), которые соединены с валом вентилятора.

2.1.Определение параметров Т – образной схемы асинхронного двигателя АКН2-18-43-12 УХЛ

Справочные технические данные асинхронного двигателя АКН2-18-43-12 УХЛ приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Технические данные АКН2-18-43-12 УХЛ

$P_{\text{ном}},$ кВт	$n_{\text{ном}},$ об/мин	$n_0,$ об/мин	кпд(η), %	$\cos\varphi,$ о.е.	$I_{\text{пуск}}/$ $I_{\text{ном}}$	$M_{\text{макс}}/$ $M_{\text{ном}}$	$J,$ кг·м ²
1600	495	500	95,1	0,86	14	2,4	4000

Для расчёта характеристик асинхронного двигателя, как правило, пользуются его математической моделью, которая в общем случае представлена различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчётов асинхронного двигателя является Т - образная схема замещения.

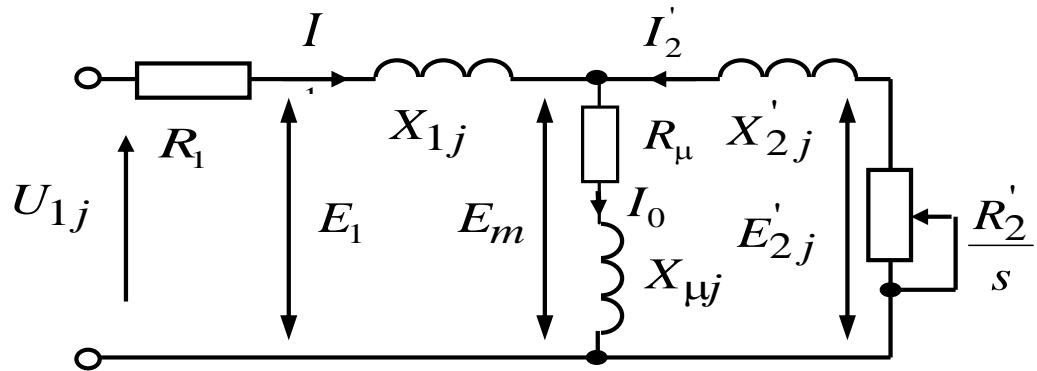


Рисунок 4 - Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке приняты следующие обозначения:

U_j - фазное напряжение статора;

R_1 - активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$ - индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

I_1 - ток обмотки статора;

E_1 - ЭДС обмотки статора;

R_2' - активное сопротивление обмотки ротора, приведённое к обмотке статора;

$X_{2\sigma}'$ - индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведённое к обмотке статора;

E_m - ЭДС от главного магнитного поля машины;

E_2' - ЭДС обмотки ротора, приведённая к обмотке статора;

I_0 - ток холостого хода асинхронного двигателя;

s - скольжение.

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие выбранной схеме замещения:

Синхронная угловая частота вращения:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 500}{30} = 52,4 \text{ рад/с.}$$

Номинальная частота вращения:

$$\omega_n = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0,13) \cdot 52,4 = 51,7 \text{ рад/с.}$$

Номинальный ток статора:

$$I_{1n} = \frac{P_{\text{двн}} \cdot 1000}{3 \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{1600 \cdot 1000}{3 \cdot 3464 \cdot 0,86 \cdot 0,951} = 188,25 \text{ А.}$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I_{11} = \frac{p_{\text{жс}} \cdot P_{\text{двн}}}{3 \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_z \cdot \eta_z} = \frac{0,75 \cdot 1600000}{3 \cdot 3464 \cdot 0,951 \cdot 0,82} = 146,84 \text{ А.}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p_{\text{жс}} \cdot I_{1n} \cdot \frac{1 - s_n}{1 - p_{\text{жс}} \cdot s_n} \right)^2}{1 - \left(p_{\text{жс}} \cdot \frac{1 - s_n}{1 - p_{\text{жс}} \cdot s_n} \right)^2}}$$

где $p_{\text{жс}} = 0,75$ - коэффициент загрузки двигателя.

$$I_0 = \sqrt{\frac{146,84^2 - \left(0,75 \cdot 188,25 \cdot \frac{1 - 0,13}{1 - 0,75 \cdot 0,13} \right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1 - 0,13}{1 - 0,75 \cdot 0,13} \right)^2}} = 63,13 \text{ А,}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_n = \frac{P_{\text{двн}} \cdot 1000}{\omega_n} = \frac{1600 \cdot 1000}{51,7} = 30960 \text{ Н·м.}$$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке, принимаем согласно техническим характеристикам $\cos \varphi_z = 0,82$.

Коэффициент полезного действия при частичной нагрузке, принимаем согласно техническим характеристикам $\eta_z = 0,949$.

Определим коэффициент:

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1n}} = 1 + \frac{63,13}{2 \cdot 14 \cdot 188,25} = 1,012.$$

Критическое скольжение:

$$s_k = s_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,13 \cdot \frac{2,4 + \sqrt{2,4^2 - (1 - 2 \cdot 0,13 \cdot 0,75 \cdot (2,4 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,13 \cdot 1 \cdot (2,4 - 1)} = 0,061.$$

где (β) - коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6 - 2,5, принимаем (0,75).

Приведённое активное сопротивление роторной обмотки, к статорной обмотке асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot m_k \cdot P_n \cdot c1^2 \cdot (\beta + \frac{1}{s_k})} = \frac{3 \cdot 3464^2 \cdot (1 - 0,13)}{2 \cdot 2,4 \cdot 1600000 \cdot 1,012^2 \cdot (1 + \frac{1}{0,061})} = 0,26484 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = c_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,012 \cdot 0,26484 \cdot 0,75 = 0,20101 \text{ Ом.}$$

Определим параметр (γ) , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания (X_K) :

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k^2}\right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,061^2}\right) - 0,75^2} = 16,291,$$

тогда:

$$X_{кн} = \gamma \cdot c_1 \cdot R_2' = 16,291 \cdot 1,012 \cdot 0,26484 = 4,36617 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1н} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 4,36617 = 1,83379 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{1н} = \frac{X_{1н}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{1,83379}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,00584 \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведённое к статорной, может быть рассчитано:

$$X'_{2н} = \frac{0,58 \cdot X_{кн}}{c_1} = \frac{0,58 \cdot 4,36617}{1,115} = 2,5024 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L'_{2н} = \frac{X'_{2н}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{2,5024}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,00797 \text{ Гн.}$$

По данным значениям ($C_1, R'_2, X_{кн}$) определим критическое скольжение:

$$s_{k1} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1,055 \cdot 4,659}{\sqrt{4,917^2 + 5,091^2}} = 0,0613.$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведённая потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos \varphi_n - I_{1н} \cdot R_1)^2 + (U_{1н} \cdot \sin \varphi_n - I_{1н} \cdot X_{1н})^2} = \\ \sqrt{(3464 \cdot 0,86 - 188,25 \cdot 0,20101)^2 + (3464 \cdot 0,51029 - 188,25 \cdot 1,83379)^2} = 3267,21.$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu н} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{192,708}{63,13} = 51,75 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания):

$$L_{\mu н} = \frac{X_{\mu н}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{51,75}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,16473 \text{ Гн.}$$

Проверка адекватности расчётных параметров двигателя:

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя ($M_{эм.н}; M_{эм.н}^*$):

$$M_{\text{эм.н1}} = \frac{3 \cdot U_{\text{лфн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \text{Н} \cdot \text{м}.$$

$$\frac{3 \cdot 3464^2 \cdot 0,26484}{52,4 \cdot 0,13 \cdot \left[4,36617^2 + \left(0,20101 + \frac{0,26484}{0,13} \right)^2 + \left(\frac{0,20101 \cdot 0,26484}{0,13 \cdot 51,75} \right)^2 \right]} = 31666.$$

$$M_{\text{эм.н2}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{(L_{\mu} + L_{2\delta})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{\text{лн}}^2 - I_0^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 6 \cdot \frac{0,16473}{(0,16473 + 0,0079)} \cdot 14,707 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{188,25^2 - 63,13^2} = 31667 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где, $\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_{\mu} = \sqrt{2} \cdot 63,13 \cdot 0,16473 = 14,707 \text{ Вб}.$

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н1}} \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}} \equiv 30960 < 31666 < 34056 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\text{эм.н1}} \approx M_{\text{эм.н2}} \equiv 31666 \text{ Н} \cdot \text{м} \approx 31667 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

По результатам расчёта эти условия выполняются.

Таблица 2. – Параметры схемы замещения АКН2-18-43-12 УХЛ

R_s	R_r	L_s	L_r	L_m
0,20101	0,26484	0,00584	0,00797	0,16473

2.2. Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик.

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику:

$$M(\omega_r) = \frac{3 \cdot U_{\text{лфн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]};$$

$$\omega_r = (\omega_0 + 0,0001), (\omega_0 - 2) \dots a;$$

Рассчитаем критический момент двигателя по его рассчитанным параметрам:

$$M_{\text{эмк}} = \frac{3 \cdot U_{\text{лфн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{кр}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{кр}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{кр}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$\frac{3 \cdot 3464^2 \cdot 0,26484}{52,4 \cdot 0,061 \cdot \left[4,36617^2 + \left(0,20101 + \frac{0,26484}{0,061} \right)^2 + \left(\frac{0,20101 \cdot 0,26484}{0,061 \cdot 51,75} \right)^2 \right]} = 75128 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Критический момент по паспортным данным рассчитывается по формуле: $M_{\text{кр}} = M_{\text{ном}} \cdot k_{\text{макс}} = 23.605 \cdot 2,32 = 74304 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

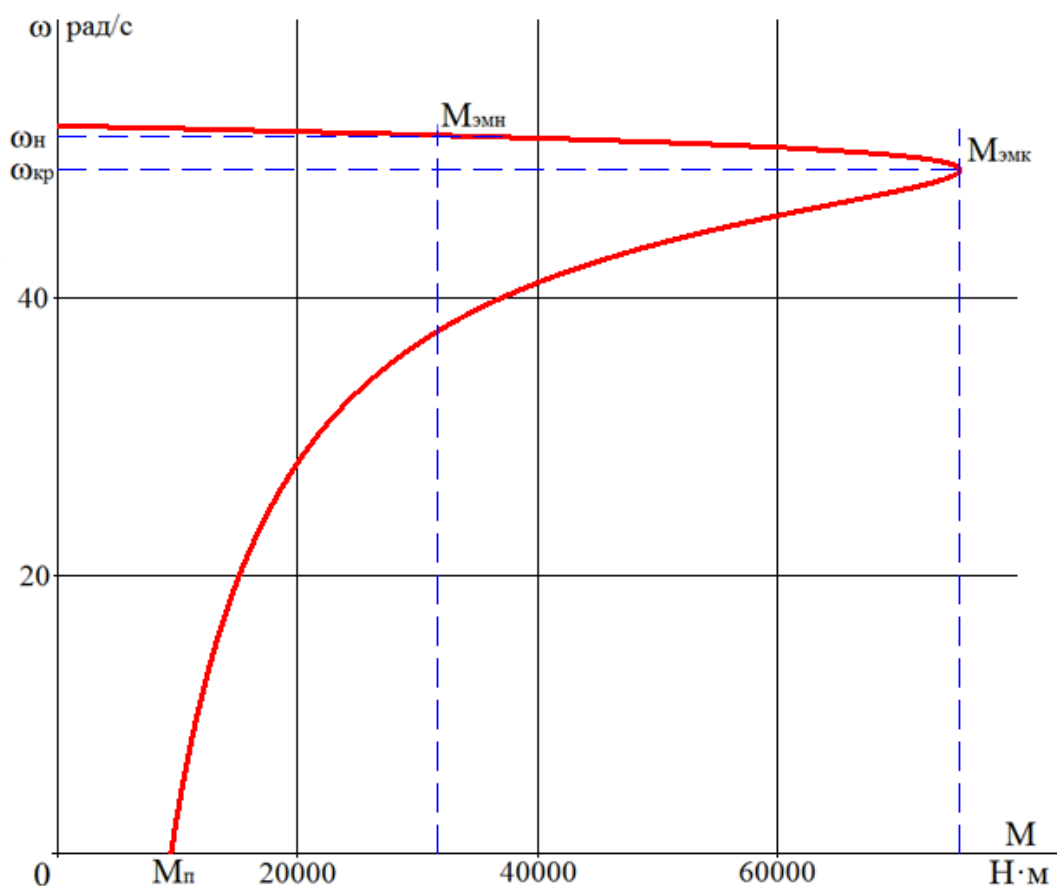


Рисунок 5 - Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику:

$$I_1(\omega_i) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega_i)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega_i) \cdot \sin \phi_2};$$

$$\sin \phi_2(\omega_i) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_0}}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}};$$

$I_2'(\omega)$ - значение приведенного тока ротора от скольжения;

$$I_2'(\omega_i) = \frac{U_{1\text{н}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_0}}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_0} \cdot X_{\mu}}\right)^2}};$$

$$\omega_i = (\omega_0 + 0,0001), (\omega_0 - 2)..0.$$

По вышеприведенным формулам рассчитывается естественная электромеханическая характеристика, приведенная на рисунке 6:

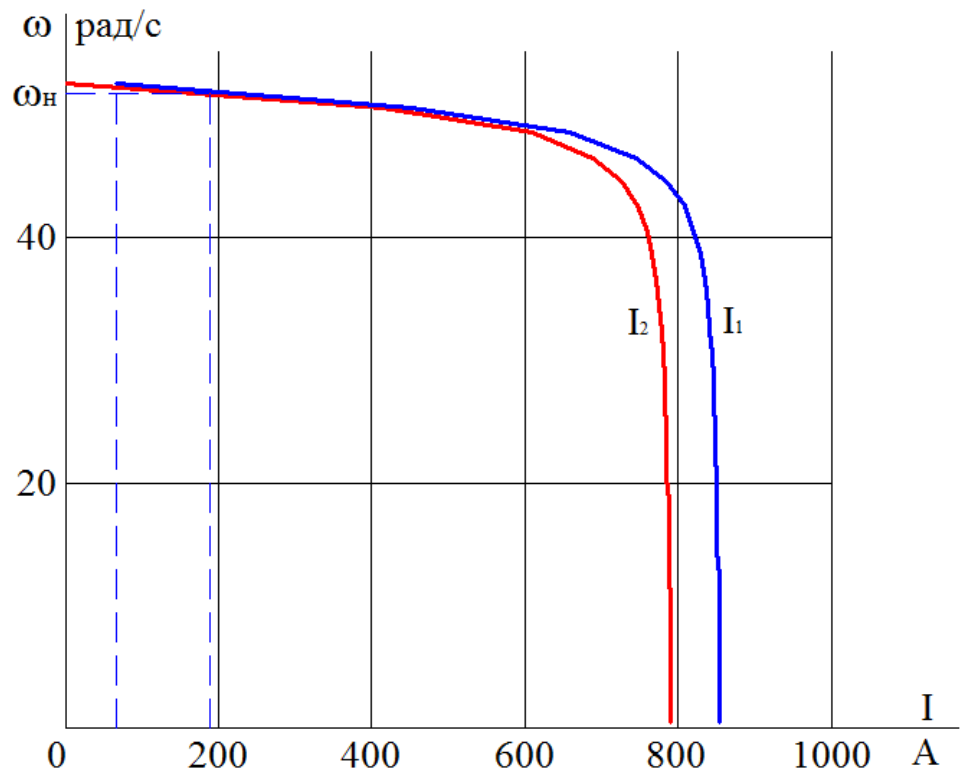


Рисунок 6 - Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

2.3.Расчёт искусственных механических и электромеханических характеристик привода

Момент от сил трения механизма:

$$\Delta_{MC} = M_{эм.н1} - M_{двн} = 31666 - 30960 = 706,48.$$

Постоянная нагрузка:

$$N_{agr} = 0,5 \cdot M_{двн} = 0,5 \cdot 30960 = 15480.$$

$$M_{C1} = N_{agr} + \Delta_{MC} = 15480 + 706,48 = 16186,48.$$

Принимаем максимальный момент:

$$M_{\max}(\omega_n) = 1,5 \cdot M_{\text{двн}} + \Delta_{\text{МС}};$$

$$M_{\text{Imax}} = M_{\max}(\omega_n) = 1,5 \cdot 30960 + 706,48 = 47146,48 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент нагрузки:

$$M_{\text{нагр}} = 17553 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Механические характеристики нагрузки механизма строятся по уравнениям:

$$M_C(\omega_{\text{нагр}}) = M_{\text{нагр}} \cdot \left(\frac{\omega_{\text{нагр}}}{\omega_n} \right)^2;$$

$$M_{C1}(\omega_{\text{нагр}}) = M_C(\omega_{\text{нагр}}) + \Delta_{\text{МС}};$$

$$\omega_{\text{нагр}} = 0,5..1,05 \cdot \omega_0.$$

На рисунке 7 изображена механическая характеристика постоянной нагрузки механизма.

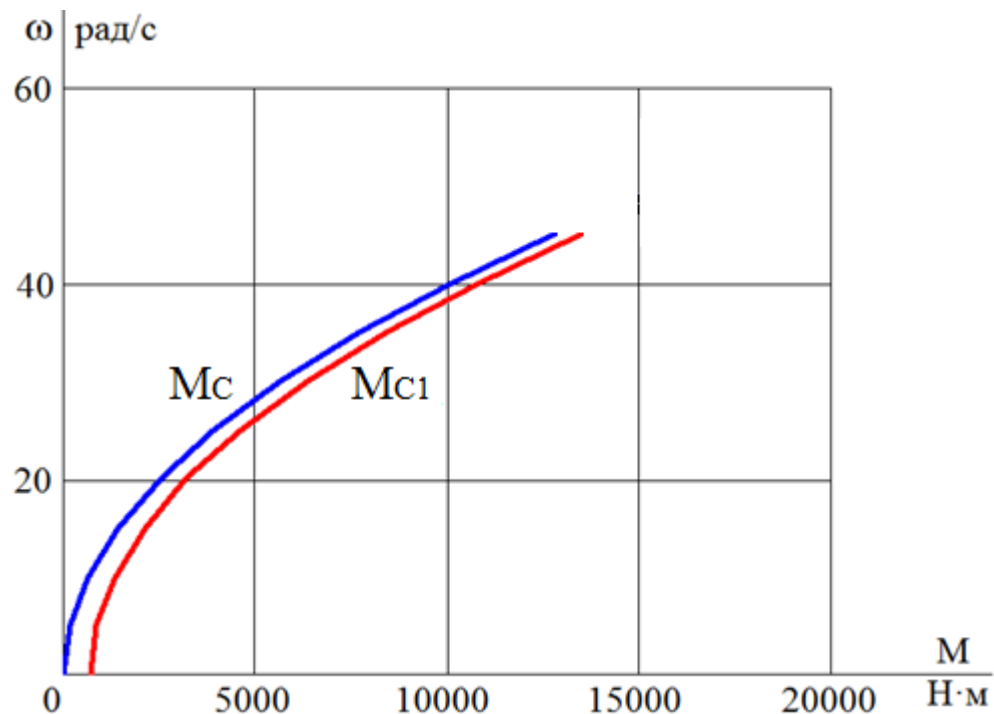


Рисунок 7 - Механическая характеристика механизма с учетом сил трения

В приводах длительного режима работы с постоянной скоростью и диапазоном регулирования скорости не больше 1:10 и без особых требований к

динамике целесообразно применение простейших законов и структур частотного управления. При вентиляторном характере нагрузки разомкнутые структуры регулирования с квадратичным законом управления.

Коэффициент определяющий закон частотного регулирования, при законе регулирования:

$$\frac{U}{f^2} = const, \lambda_{ui} = \left(\frac{f_i}{f_{1н}} \right).$$

$$\lambda_1 = \frac{f_1}{f_{1н}}, \lambda_2 = \frac{f_2}{f_{1н}}, \lambda_3 = \frac{f_3}{f_{1н}}, \lambda_4 = \frac{f_4}{f_{1н}}, \lambda_5 = \frac{f_5}{f_{1н}}, \lambda_6 = \frac{f_6}{f_{1н}}.$$

Механические и электромеханические характеристики строятся при частотах:

$$f_1 = 50, f_2 = 40, f_3 = 30, f_4 = 20, f_5 = 20, f_6 = 10.$$

Механические характеристики без компенсации по напряжению асинхронного электродвигателя рассчитывается по выражению:

$$M(s, \lambda) = \frac{3 \cdot (U_1(\lambda_{ui}))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(\lambda_i) \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 \cdot \lambda_i^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\muн} \cdot \lambda_i} \right)^2 \right]}.$$

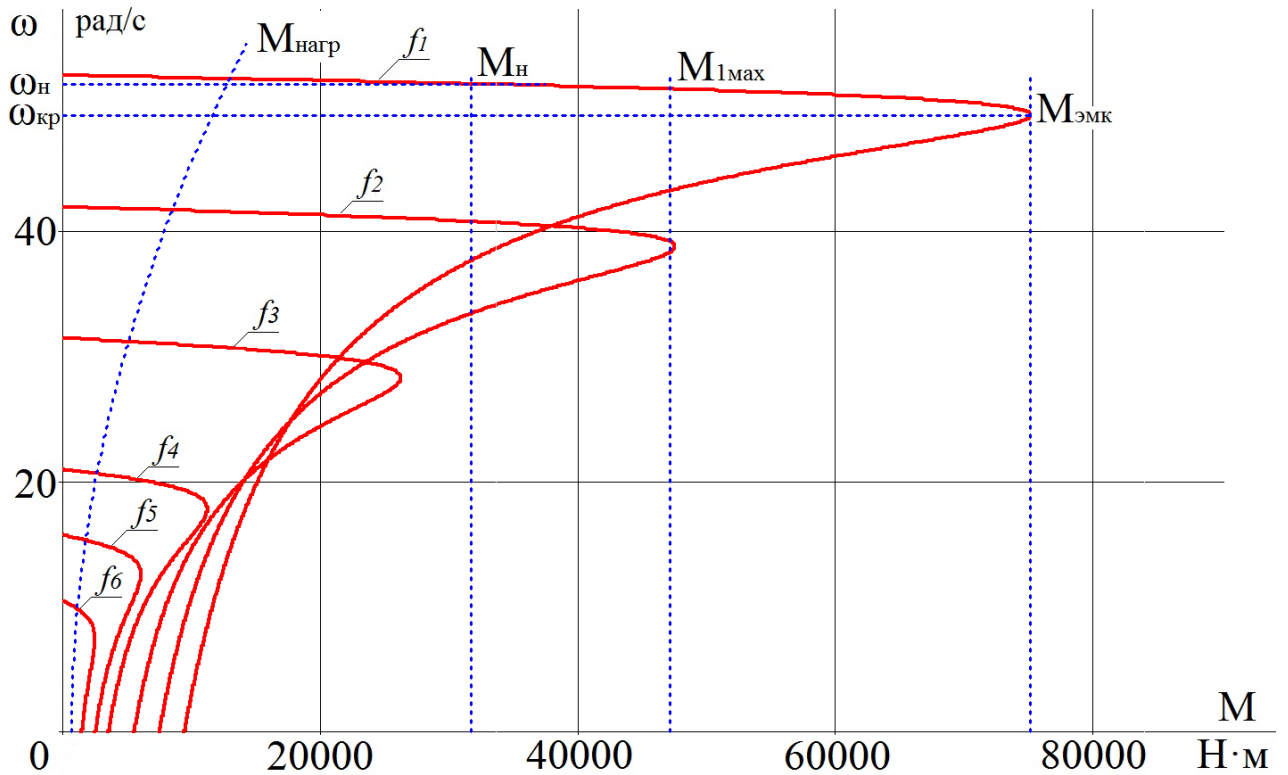


Рисунок 8 - Механические характеристики при законе регулирования

$$\frac{U}{f^2} = const$$

Механические характеристики асинхронного электродвигателя рассчитывается по выражению:

$$M(s, \lambda) = \frac{3 \cdot (U_1(\lambda_{ui}) + \Delta U)^2 \cdot R'_2}{\omega_0(\lambda_i) \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot \lambda_i^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu\text{н}} \cdot \lambda_i} \right)^2 \right]}.$$

Естественные электрохимические характеристики электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_{\text{н}} = f_{1\text{н}} = 50$ Гц по выражению:

$$I_1(\omega_i) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(\omega_i) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega_i) \cdot \sin \varphi_2(\omega_i)}, \text{ где}$$

$$I_2'(\omega_i) = \frac{U_{1\text{фн}} \cdot \lambda_{ui} + \Delta U_i}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\omega_0 \cdot \lambda_i - \omega_i} \right)^2 + (X_{\text{кн}} \cdot \lambda_i)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \lambda_i - \omega_i \cdot X_{\mu} \cdot \lambda_i} \right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(\omega_i) = \frac{X_{\text{кн}} \cdot \lambda_i}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 \cdot \lambda_i - \omega_i} \right)^2 + (X_{\text{кн}} \cdot \lambda_i)^2}};$$

$$\omega_i = (\omega_0 \cdot \lambda_i + 0,0001), (\omega_0 \cdot \lambda_i - 2) \dots 0;$$

$$I_{0i} = \frac{U_{1\text{фн}} \cdot \lambda_{ui} + \Delta U_i}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} \cdot \lambda_i + X_{\mu} \cdot \lambda_i)^2}}.$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$. Электромеханические характеристики приведены на рисунке.

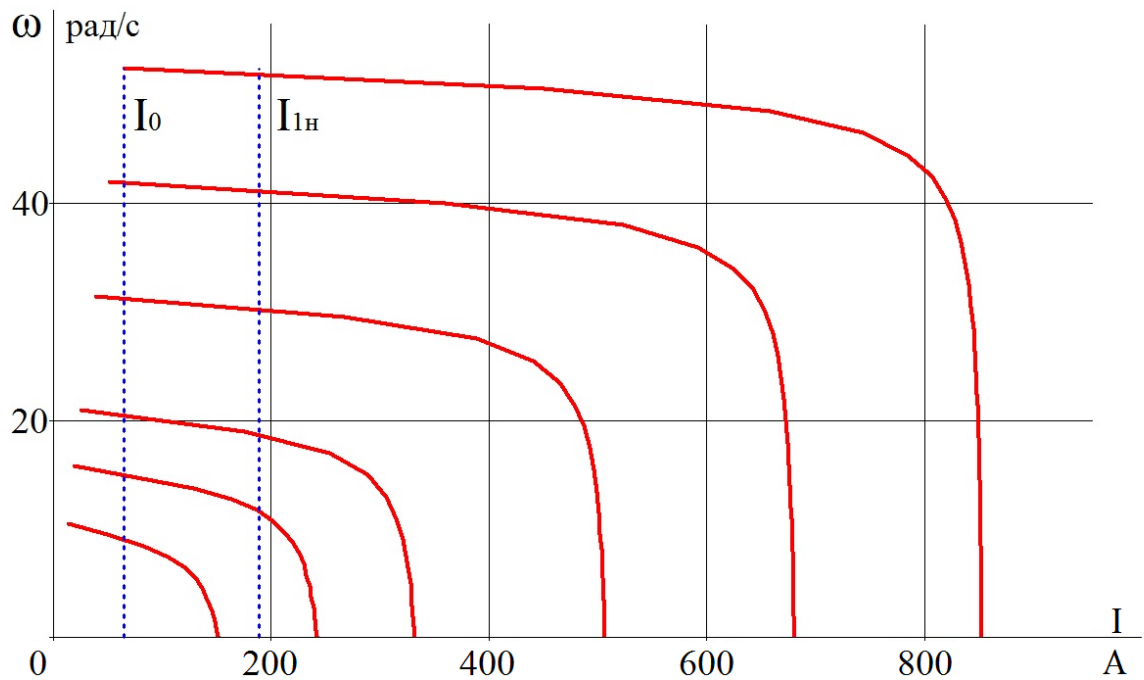


Рисунок 9 – Электромеханические характеристики при законе регулирования $\frac{U}{f^2} = const$

В результате произведен выбор закона частотного управления и рассчитаны искусственные механические и электромеханические характеристики. Анализируя механические характеристики видно, что, двигатель обеспечивает необходимый момент на всем диапазоне регулирования.

3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ

3.1. Имитационное моделирование пуска с помощью роторных резисторно-контакторных станций асинхронного двигателя АКН2-18-43-12 УХЛ

Проведем имитационное моделирование пуска асинхронного электродвигателя АКН2-18-43-12 УХЛ с помощью роторных резисторно-контакторных станций в программе MATLAB Simulink [15].

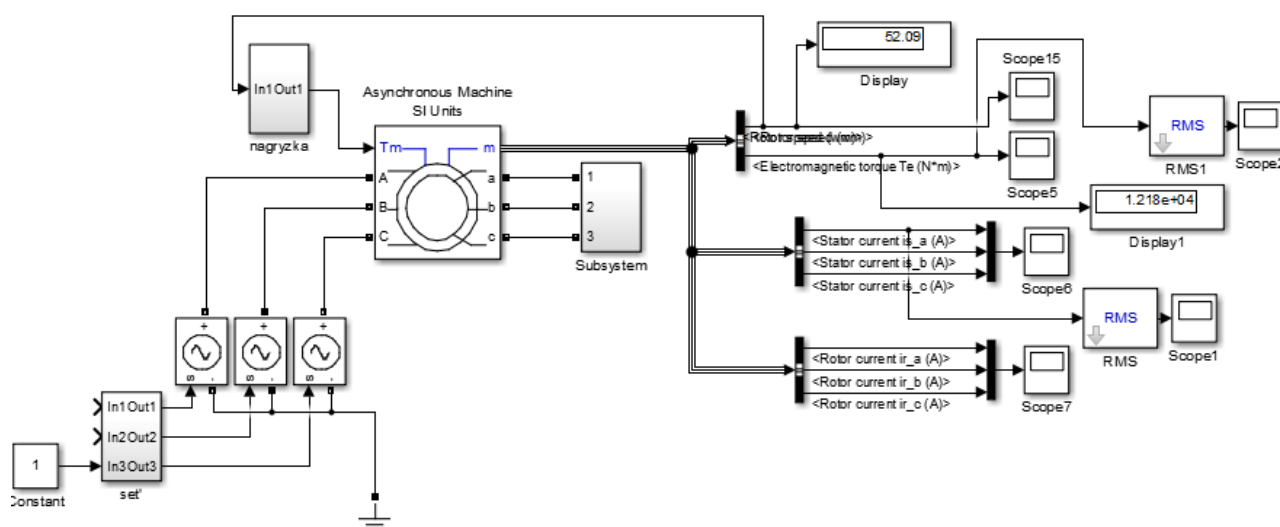


Рисунок 10 – Модель асинхронного двигателя при пуске с помощью роторных резисторно-контакторных станций

Configuration	Parameters	Advanced	Load Flow
Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA),Vn(Vrms),fn(Hz)]:			
<input type="text" value="[1600000 6000 50]"/>			
Stator resistance and inductance[Rs(ohm) Lls(H)]:			
<input type="text" value="[0.20101 0.00584]"/>			
Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]:			
<input type="text" value="[0.26484 0.00797]"/>			
Mutual inductance Lm (H):			
<input type="text" value="0.16473"/>			
Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]:			
<input type="text" value="[4000 0 6]"/>			

Рисунок 11 – Параметры асинхронного двигателя

Так же симитируем вентиляторную нагрузку, зависящей от скорости вращения ротора, для получения данных о скорости, момента и токов. Уравнение описывающие такую нагрузку:

$$M_c(\omega_{\text{нагр}}) = M_{\text{нагр}} \cdot \left(\frac{\omega_{\text{нагр}}}{\omega_n} \right)^2.$$

На рисунке 12 в блок In1 поступают данные о скорости ротора, а из блока Out1 выходит значение нагрузки, поступающее прямо на блок двигателя.

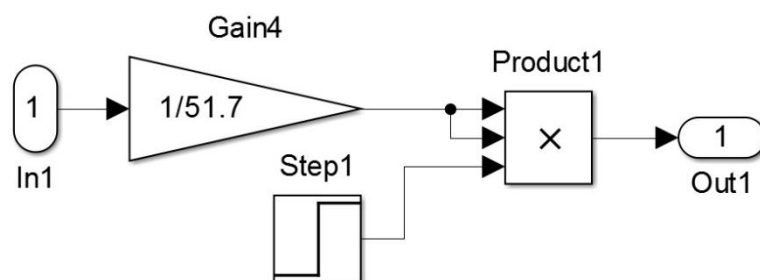


Рисунок 12 – Имитационная модель вентиляторной нагрузки

В результате моделирования были получены переходные характеристики двигателя (рисунки 13-15).

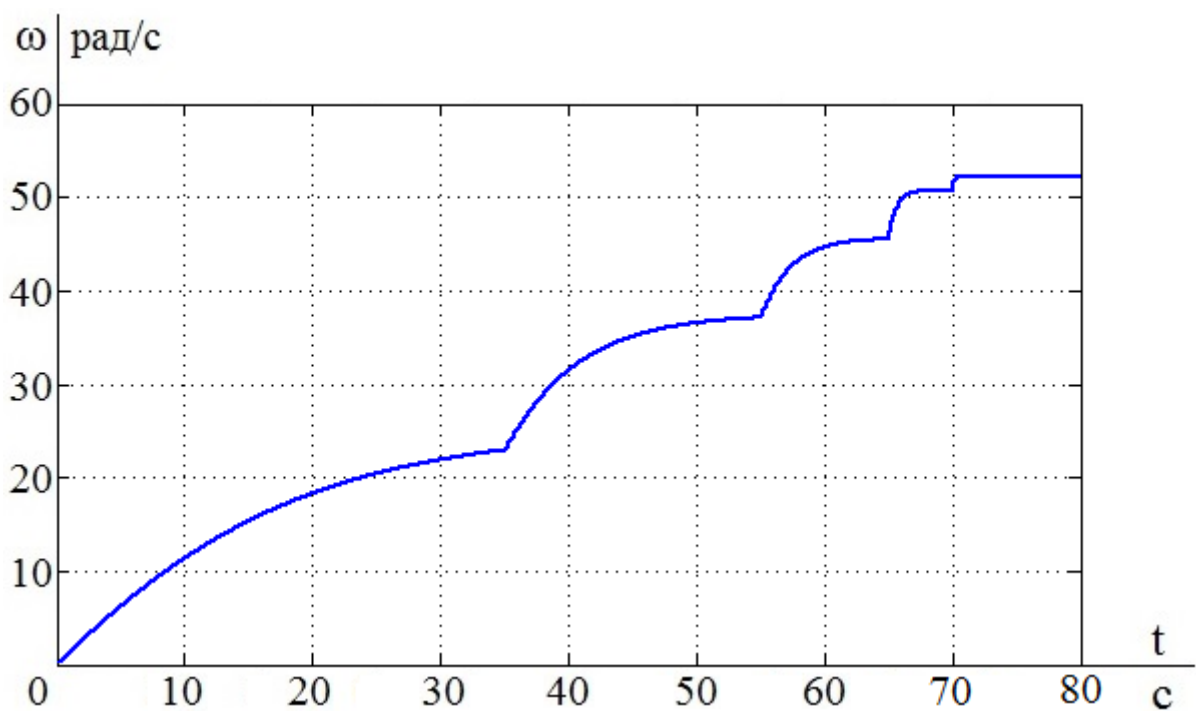


Рисунок 13 – Переходная характеристика скорости при пуске с помощью роторных резисторно-контакторных станций

Из рисунка 13 видно, что через 71 с после пуска двигатель выходит на номинальную скорость.

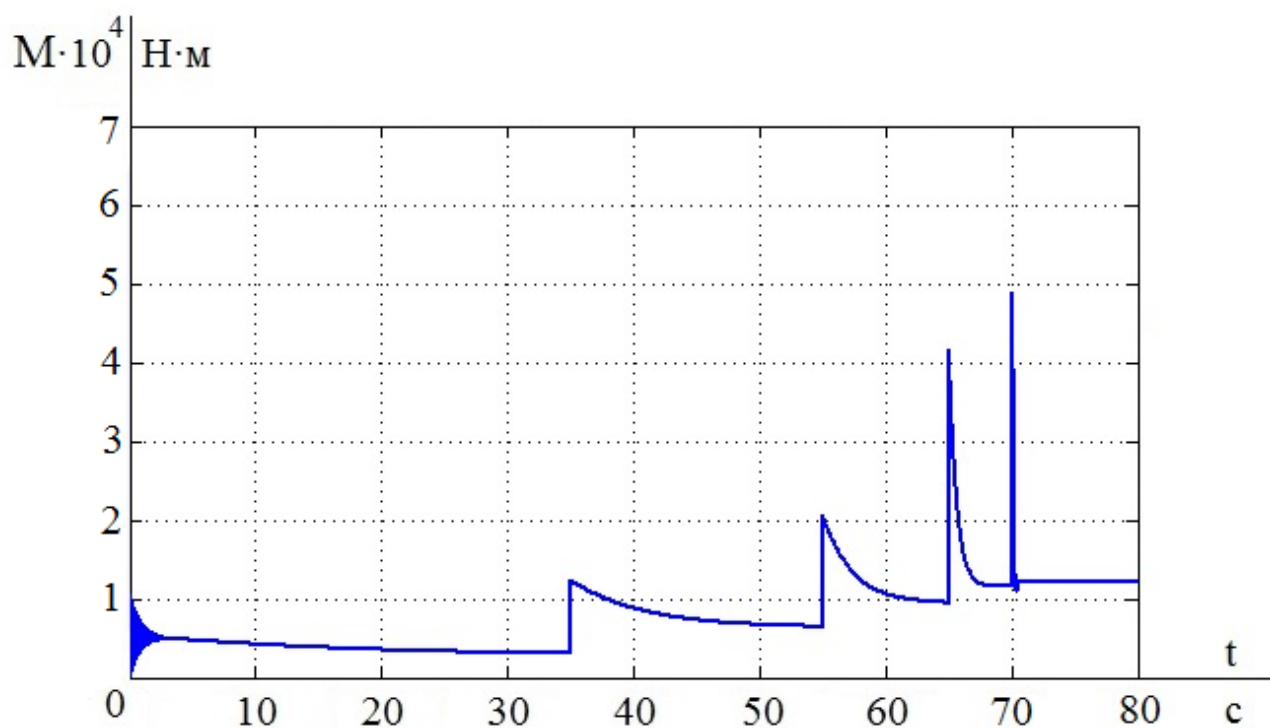


Рисунок 14 - Переходная характеристика момента при пуске с помощью роторных резисторно-контакторных станций

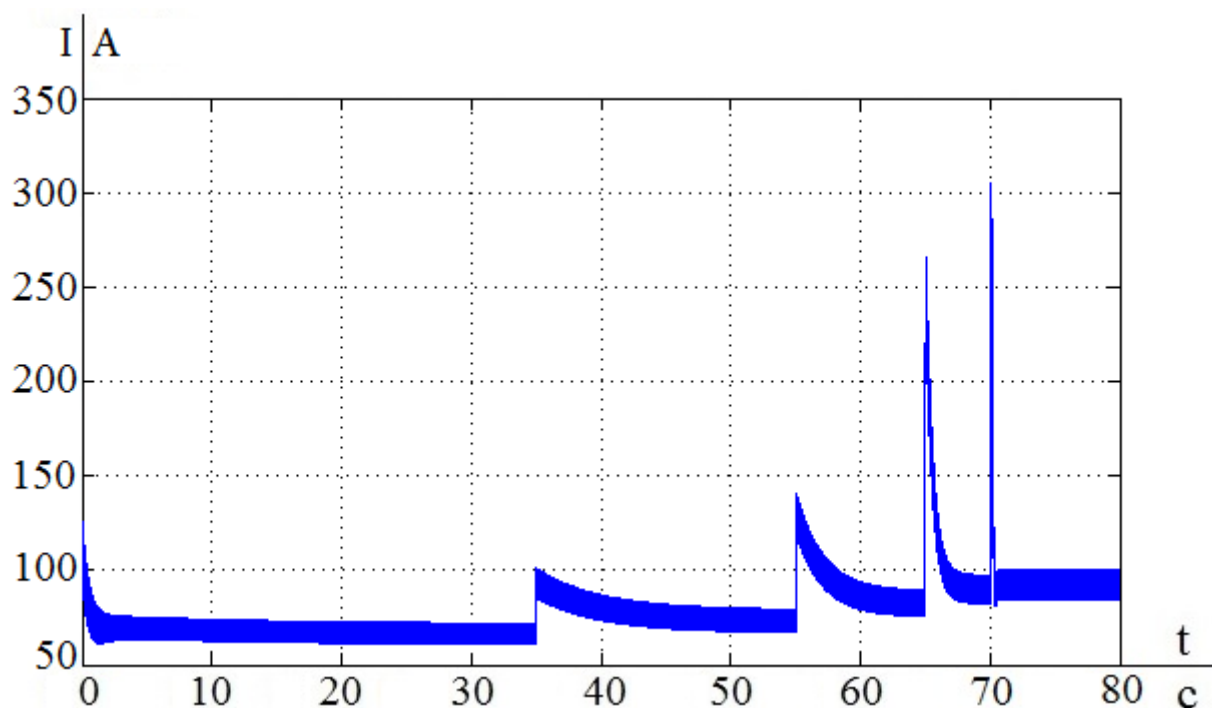


Рисунок 15 - Переходная характеристика тока статорной обмотки при пуске с помощью роторных резисторно-контакторных станций

3.2.Разработка имитационной модели асинхронного двигателя частотного регулирования для вентиляторной установки главного проветривания шахт на базе машины двойного питания

Имитационная модель собрана из библиотечных блоков программы MATLAB Simulink по упрощенной функциональной схеме, представленной на рисунке 16. Как видно из схемы в статорной обмотке присутствует контактор. В $t = 0$ с на ротор двигателя подается номинальное напряжение, которое формирует обмотке статора ЭДС равное напряжению сети, после этого в момент времени $t = 2$ с замкнуться силовые контакты контактора, и обмотка статора создаст вращающийся магнитный поток Φ_1 , который при своем вращении пересекает проводники обмотки статора, индуцируя в них ЭДС. Так как величины создаваемых статором и ротором ЭДС равны и встречно направлены, то в результате взаимодействия проводников с током, размещенных в пазах ротора, с

результатирующим магнитным потоком Φ механические силы действуют на проводники обмотки ротора таким образом, что не создается результирующий электромагнитный вращающий момент, угол сдвига фаз Ψ_2 между e_2 и i_2 равен 90° . Далее изменяя частоту и амплитуду напряжения по закону $\frac{U}{f^2} = const$, мы будем изменять угол Ψ_2 в диапазоне $0 < \Psi_2 < 90^\circ$ в результате создается электромагнитный вращающий момент.

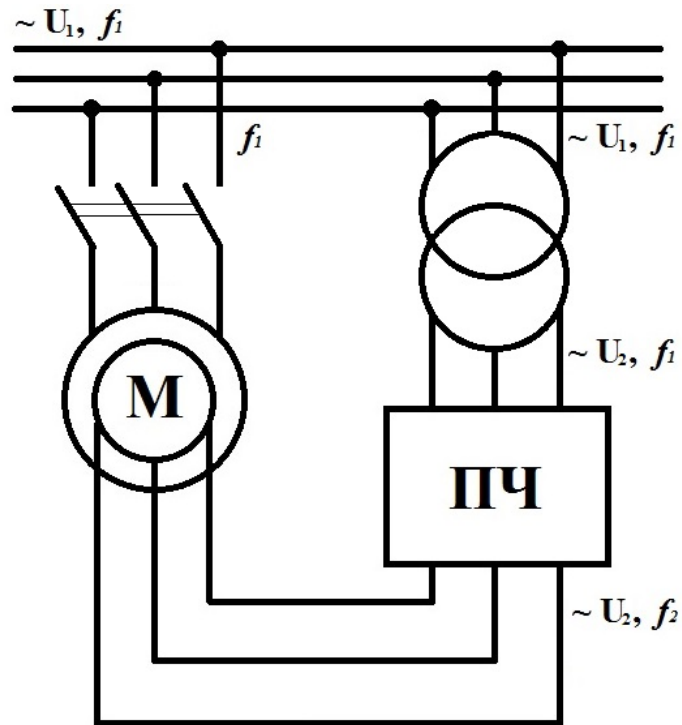


Рисунок 16 – Упрощенная функциональная схема машины двойного питания

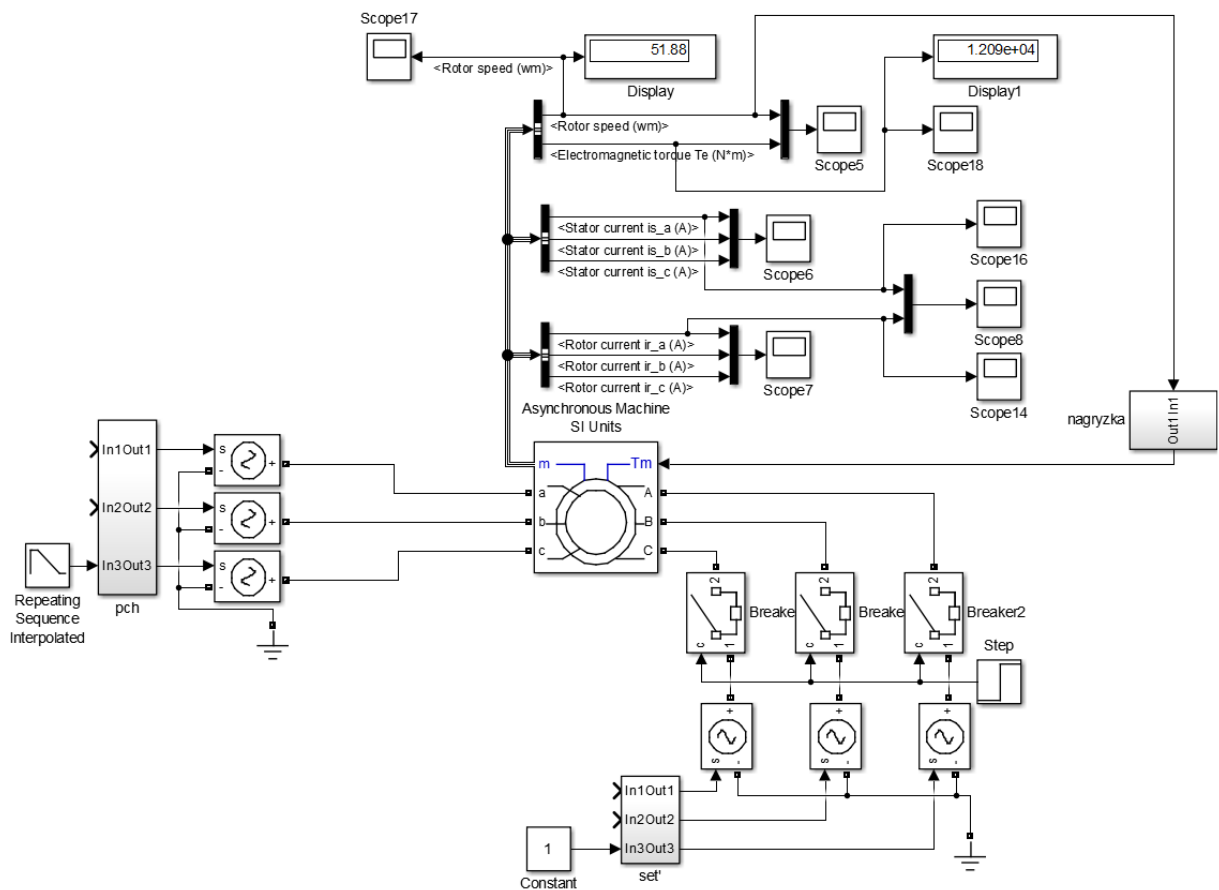


Рисунок 17 – Имитационная модель частотно – регулируемого асинхронного двигателя на базе машины двойного питания

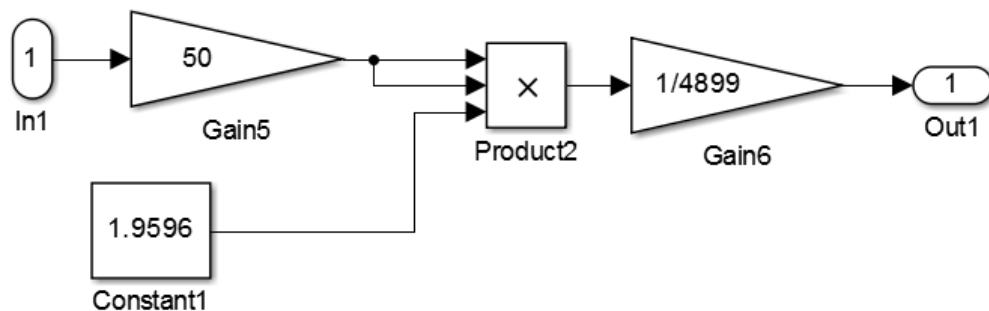


Рисунок 18 - Имитационная модель закона управления $\frac{U}{f^2} = const$

В результате моделирования были сняты следующие характеристики (рисунки 19-22):

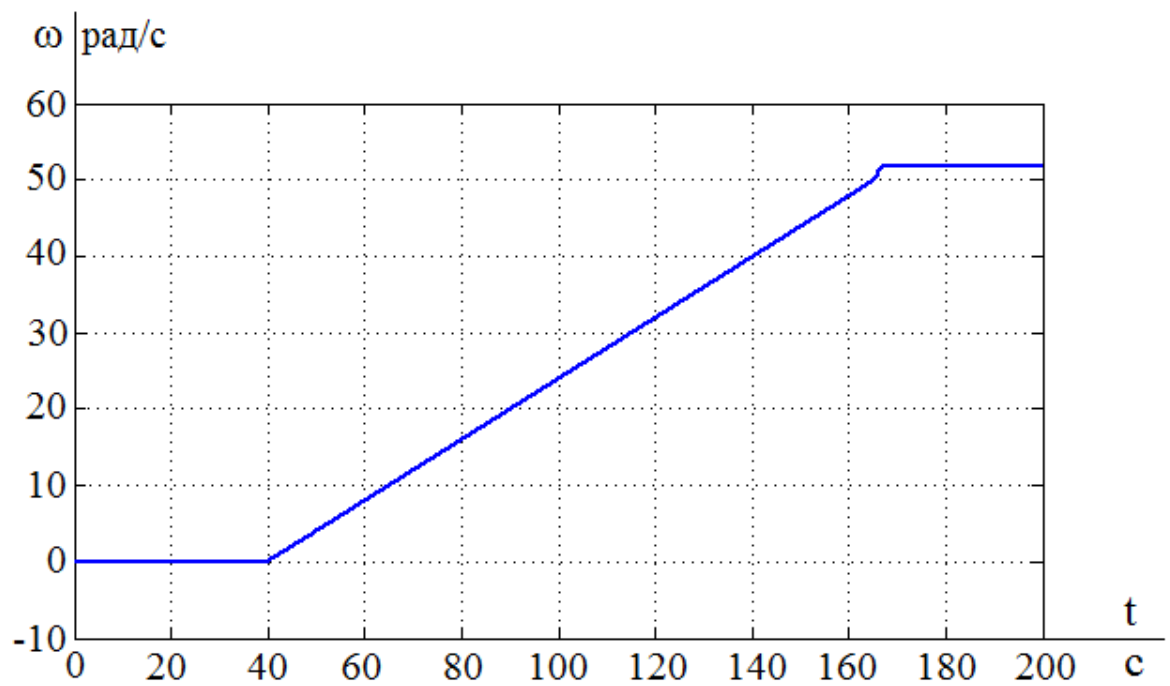


Рисунок 19 - Переходная характеристика скорости при частотном регулировании

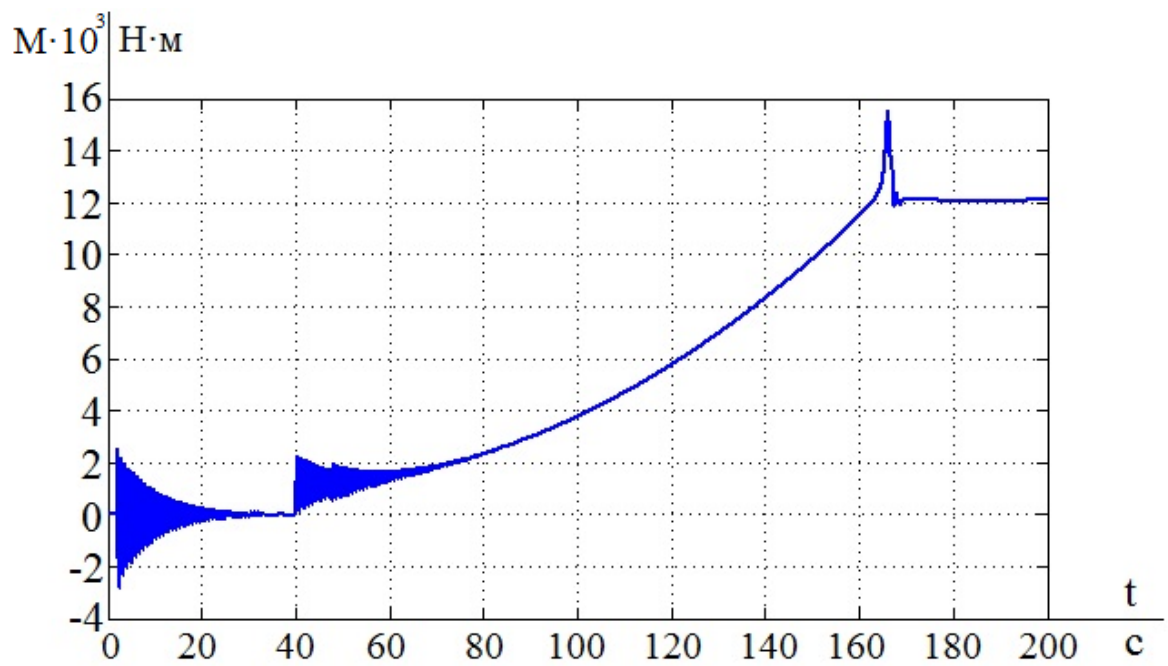


Рисунок 20 - Переходная характеристика момента при частотном регулировании

Из графика переходной характеристики на рисунке 20 видно, что при данном способе пуска удалось уменьшить колебания момента двигателя в более чем 3 раза, в сравнении с пуском с помощью роторных резисторно-контакторных станций.

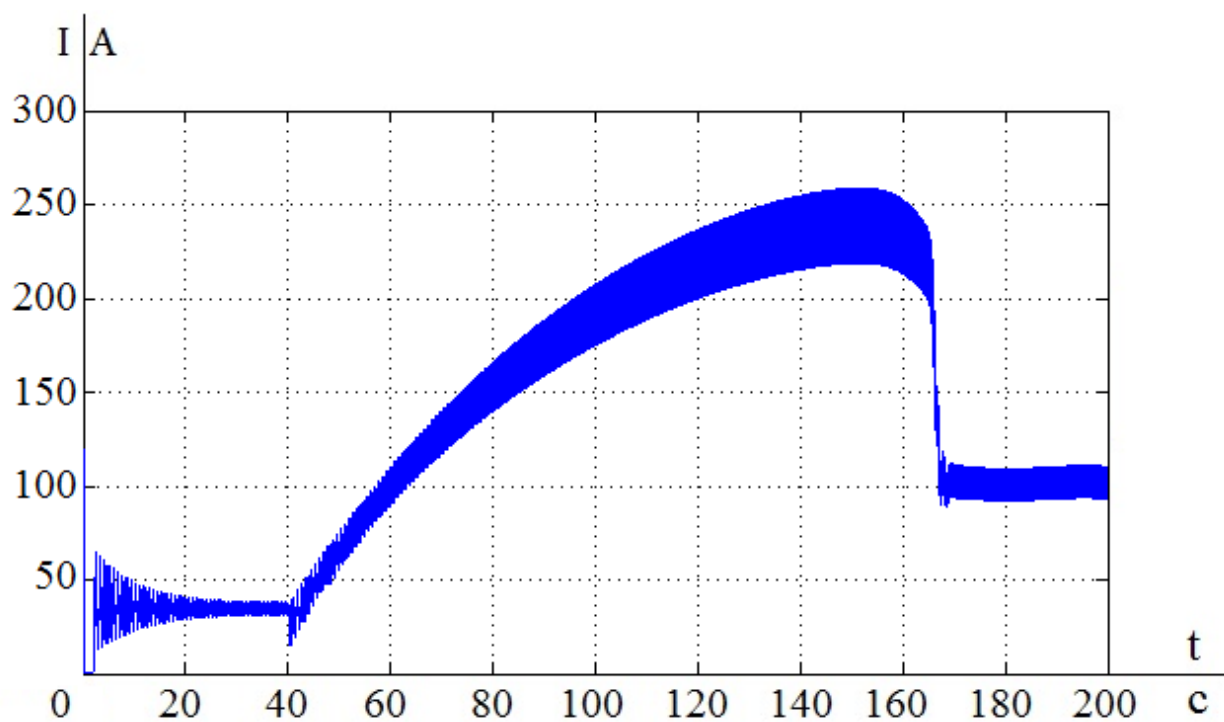


Рисунок 21 - Переходная характеристика тока фазы статора при частотном регулировании и вентиляторной нагрузке

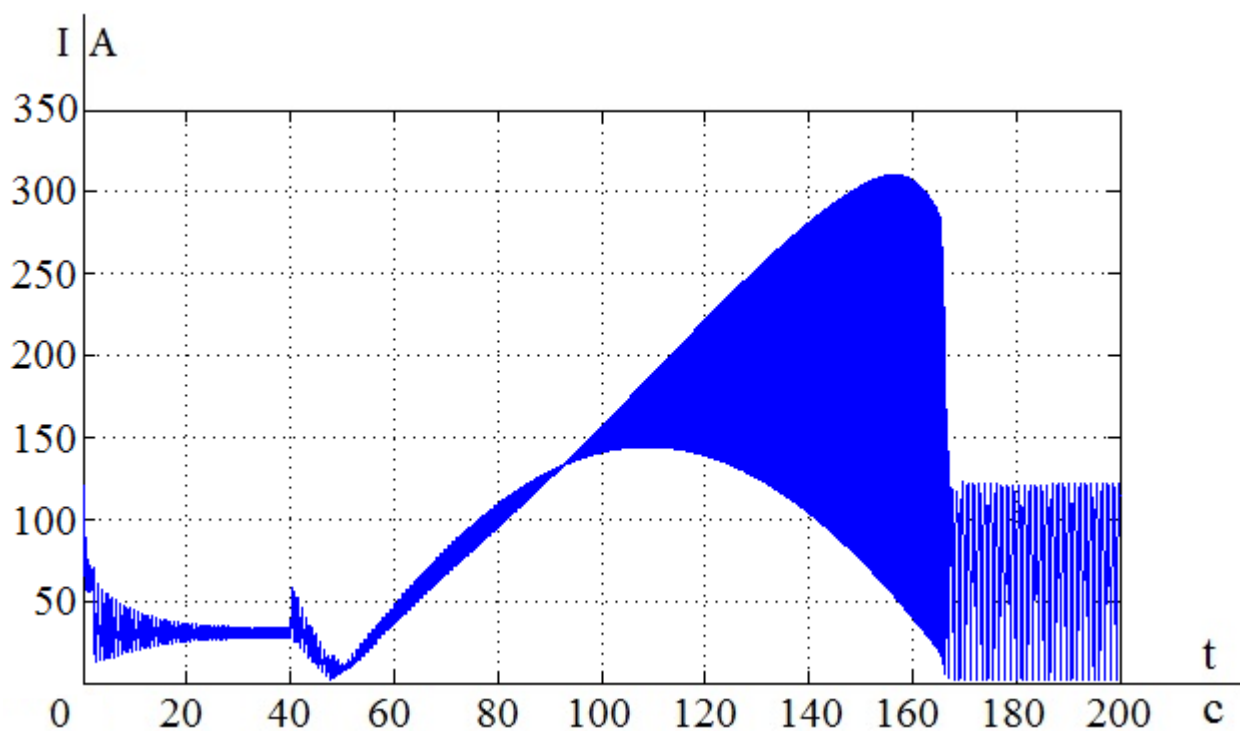


Рисунок 22 - Переходная характеристика тока фазы ротора при частотном регулировании и вентиляторной нагрузке

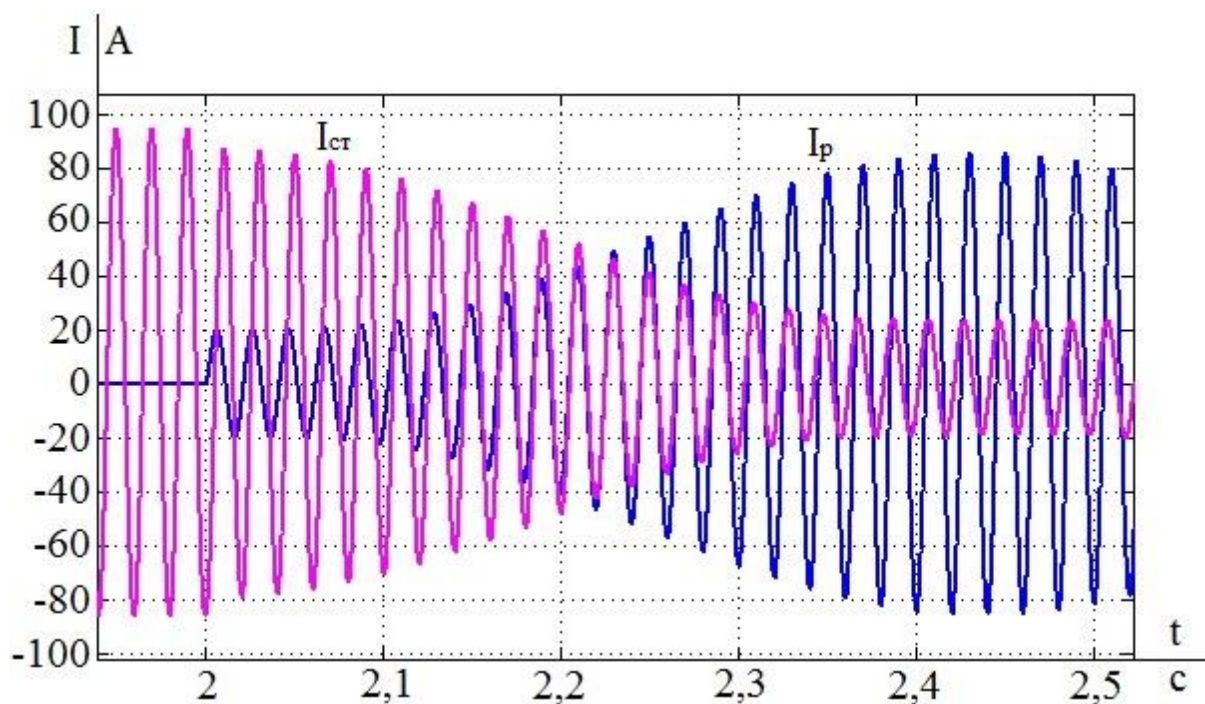


Рисунок 23 - Переходные характеристики токов фазы ротора и статора в момент коммутации при частотном регулировании и вентиляторной нагрузке

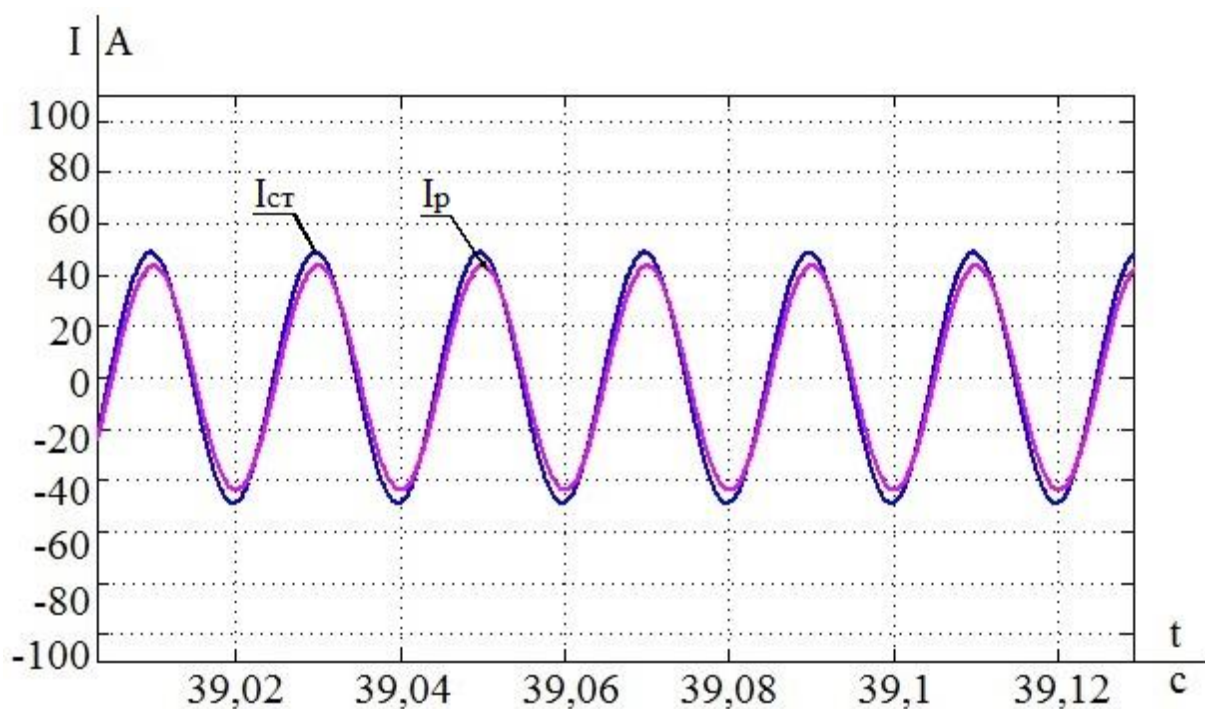


Рисунок 24 - Переходные характеристики тока фазы ротора и статора в установившемся режиме при частотном регулировании и вентиляторной нагрузке

На рисунке 23 видно в момент замыкания контактора (2 с) происходят колебания момента, так как в обмотке статора начинает протекать ток, который

сдвинут относительно тока ротора на некоторый угол θ . Это связано с нелинейностью процессов протекающий в обмотках статора. Далее с 2 с до 30 происходит плавное уменьшение колебаний момента практически до 0, это связано с тем что уменьшается угол свига θ (рисунок 24).

В результате имитационного моделирования системы асинхронного частотно-регулируемого двигателя для вентиляционной установки главного проветривания шахт на базе машины двойного питания, были получены переходные характеристики скорости, момента и токов, анализ которых показал, что применение машины двойного питания в мощных механизмах, подобных шахтным вентиляторам главного проветривания, позволяет обеспечить номинальные характеристики двигателя при управлении по роторной цепи, а так же позволяет уменьшить колебания момента двигателя в более чем 3 раза, в сравнении с пуском с помощью роторных резисторно-контакторных станций.

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ГАЗА

При анализе рассматриваются эксплуатационные характеристики электропривода вентилятора главного проветривания шахт.

В данном разделе рассматривается возможное влияние используемого оборудования, сырья, энергии, продукции и условий работы на человека и окружающую среду; техника безопасности при работе с оборудованием и действия при чрезвычайных ситуациях.

4.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

4.1.1. Вредные факторы

Рассмотрим вредные производственные факторы, которые действуют или могут воздействовать на организм человека при эксплуатации и обслуживании вентилятора главного проветривания шахт, а также рассмотрим нормативные значения этих факторов и мероприятия, направленные на снижение или устранение этих факторов.

Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе, рабочей зоны.

В настоящее время для оценки допустимости проведения работ и их нормирования на открытом воздухе в условиях крайнего севера применяется понятие предельной жесткости погоды: эквивалентная температура, численно равная сумме отрицательной температуре воздуха в градусах Цельсия и удвоенной скорости ветра в м/с. Понятие предельной жесткости погоды

устанавливается для каждого района решением местных региональных органов управления [8].

Предельная жесткость погоды, ниже которой не могут выполняться работы на открытом воздухе, колеблется в пределах от -40 до -45 °С. При эквивалентной температуре наружного воздуха ниже -25 °С работающим на открытом воздухе или в закрытых, не обогреваемых помещениях работникам, ежечасно должен быть обеспечен обогрев в помещении. В этом помещении необходимо поддерживать температуру около $+25$ °С [16].

Работающие на открытом воздухе в зимнее время должны быть обеспечены спецодеждой и спецобувью с повышенным суммарным тепловым сопротивлением, а также защитными масками для лица. При работах, связанных с ограниченностью движения, следует применять спецодежду и спецобувь со специальными видами обогрева.

Работники должны быть обучены мерам защиты от обморожения и оказанию первой помощи. В рабочих зонах помещения и площадки обслуживания температура воздуха различна в теплый и холодный периоды года. Для поддержания микроклимата предусматриваются приточная и вытяжная вентиляции, нагреватели.

Профилактика перегревания работников осуществляется организацией рационального режима труда и отдыха путем сокращения рабочего времени для введения перерывов для отдыха, использования средств индивидуальной защиты.

Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны.

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях. Этот контроль осуществляется посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК).

Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет $1,1-10$ мг/м³, для смеси газа

пропан–бутана ПДК равно 300 мг/м³. ПДК газов, вредных примесей и некоторых применяемых веществ [16]:

- ПДК сероводорода в присутствии углеродов (C1–C5) – 3 мг/м³ (3–ой классу опасности).

- ПДК сернистого газа (SO₂) в воздухе рабочей зоны 10 мг/м³ (3 класс – умеренно опасные вредные вещества).

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

Уменьшение неблагоприятного воздействия запыленности и загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны [15].

Работающие в условиях пылеобразования должны быть в противопульных респираторах, защитных очках и комбинезонах. При загазованности траншеи или котлована в результате утечки газа необходимо прекратить работу и вывести людей, запретить пользоваться открытым огнем и обеспечить средствами индивидуальной защиты.

Повышение уровней шума.

Допустимый уровень шума на площадках скважин и на рабочих местах составляет 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБА [17]. Источниками звукового давления и уровней шума являются движение тяжелого (в том числе грузового) автотранспорта, работа вентиляционного оборудования и электроприводов.

К коллективным средствам и методам защиты от шума относятся:

- Своевременное обслуживание оборудования и совершенствование технологии ремонта;

- Использование средств звукоизоляции (звукоизолирующие кожухи), средств звукопоглощения.

Также необходимо использовать рациональные режимы труда и отдыха работников.

В качестве СИЗ Государственным стандартом предусмотрены заглушки–вкладыши (многократного или однократного пользования, вкладыши "Беруши" и др.), заглушающая способность которых составляет 6–8 дБА. В случаях более высокого превышения уровней шума следует использовать наушники. Наушники могут быть встроенными в головной убор или в другое защитное устройство [17].

Повышение уровней вибрации.

Объектами повышения уровней вибрации являются площадки скважин и рабочие места. Источниками вибраций являются движение тяжелого (в том числе грузового) автотранспорта, работа вентиляционного оборудования и электроприводов и т.п.

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Для первой категории общей вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116 дБ. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц [12].

Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены:

- применением вибробезопасного оборудования и инструмента;
- применением средств виброзащиты, снижающих воздействие на работающих вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения;
- организационно-техническими мероприятиями (поддержание в условиях эксплуатации технического состояния машин и механизмов на уровне, предусмотренном НТД на них; введение режимов труда, регулирующих продолжительность воздействия вибрации на работающих; вывод работников из мест с превышением ДУ по вибрации [12].

4.1.2. Опасные факторы

Рассмотрим вредные производственные факторы, которые действуют или могут воздействовать на организм человека при эксплуатации и обслуживании электропривода вентилятора главного проветривания шахт, а также рассмотрим нормативные значения этих факторов и мероприятия, направленные на снижение или устранение этих факторов.

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные).

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование.

Также необходимо соблюдать технику безопасности при работе оборудования, машин и механизмов, а их эксплуатацию должны выполнять только лица, имеющие на это право [8]. В нашей работе движущимися частями обладают асинхронный привод и арматура, которые находятся в закрытом корпусе и защищены от попадания посторонних предметов.

Поражение электрическим током

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека, не должны превышать следующих значений:

- переменный (50 Гц) – U не более 2,0 В, I не более 0,3 мА;
- переменный (400 Гц) – U не более 3,0 В, I не более 0,4 мА;
- постоянный – U не более 8,0 В, I не более 1,0 мА.

Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25°C) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза [20].

Для предупреждения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, используют защитные

сетчатые и смешанные ограждения (переносные временные ограждения и плакаты). Ограждению подлежат неизолированные токоведущие части выключателей, подающих напряжение на установки.

Предусмотреть технических средств электробезопасности: применение малых напряжений (12 - 42 В), защитное заземление (4 - 10 Ом), устройство защитного отключения [21].

Для защиты от поражения электрическим током персонала используются следующие средства индивидуальной защиты: диэлектрические перчатки и галоши (дежурные), резиновые коврики, изолирующие подставки.

Для защиты от электрической дуги и металлических искр при сварке необходимо использовать: защитные костюмы, защитные каски или очки и т.п.

Защита взрывоопасных сооружений и наружных установок от прямых ударов молнии выполняется отдельно стоящими стержневыми молниеотводами и прожекторными мачтами с молниеотводами. Все металлические, нетокведущие части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции, заземляются, т.е. присоединяются к многократно заземляющемуся нулевому проводу [11].

Для защиты от электрической индукции и отвода зарядов статического электричества все технологическое оборудование и аппараты заземляются путем присоединения к защитному контуру заземления или специально сооружаемому для этой цели очагу заземления.

Предусматривается глухое заземление нейтрали силовых трансформаторов на стороне низкого напряжения. Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала от поражения электрическим током предусматривается защитное зануление и устройства защитного отключения (УЗО).

Все металлические части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением, подлежат занулению путем электрического соединения с

глухозаземленной нейтралью источника питания посредством нулевых защитных проводников.

Пожарная опасность

Подземная добыча полезных ископаемых относится к взрывоопасным, пожароопасным и вредным производственным объектам. Опасность эксплуатации связана с наличием в выработках газопродуктов, которые при утечках способны образовывать с воздухом взрывоопасные и пожароопасные смеси [9].

Вещества, обращающиеся в трубопроводе, являются вредными веществами III, IV класса опасности и представляют опасность для здоровья персонала и третьих лиц.

В соответствии с принятой классификацией шахтный вентилятор объекта относится к объектам с приемлемым уровнем риска. Основными факторами, способными привести к чрезвычайным ситуациям техногенного

происхождения на объекте, являются:

- нарушение технологии строительства;
- отступление от проектных решений;
- нарушение правил эксплуатации и технологических регламентов;
- несанкционированные действия посторонних лиц;
- умышленное или непреднамеренное повреждение оборудования и технических средств;
- нарушение правил противопожарной безопасности и норм безопасности труда;
- террористический акт.

4.1.3. Экологическая безопасность

Рассмотрим воздействие вредных факторов на окружающую среду и природоохранные мероприятия при эксплуатации электропривода вентилятора главного проветривания шахт:

1) Земельные ресурсы, засорение почвы производственными отходами.

Приказом по предприятию назначается лицо, ответственное за сбор, временное хранение и организацию своевременного вывоза отходов, образующихся в результате проведения работ. На участке должен проводиться постоянный контроль за состоянием рабочих емкостей и контейнеров с отходами. Места временного хранения и накопления отходов должны соответствовать требованиям техники безопасности, санитарно-гигиеническим нормам и выше перечисленным инструкциям. Места сбора и накопления отходов должны быть оборудованы углекислотными огнетушителями, ящиками с песком, лопатой, войлоком, кошмой или асбестом.

2) Воздушный бассейн. Выбросы пыли и различных газов в процессе подземной добычи полезных ископаемых. Основные источники загрязнения слоя атмосферы подземной добычи полезных ископаемых - выбросы при проведении технологических операций. Отказы газопроводов вызываются использованием некондиционных исходных материалов (арматура, сварочная проволока и т.п.), нарушением технологии строительно-монтажных работ, ремонта и эксплуатации, коррозией и т.д. Для предупреждения неблагоприятных последствий загрязнения воздуха содержание вредных веществ в атмосфере регламентируется соответствующими нормативными документами. Для предотвращения возможных выбросов необходимо поддержание всей трубопроводной системы, арматуры в исправном состоянии, контроль над состоянием оборудования, своевременный ремонт.

4.1.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожарная опасность.

Пожарная опасность электроустановок, каковыми являются щиты и пульты управления, а также шкафы питания и коммуникаций, которые применяются в проекте, обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются

изоляции обмоток, различных электромагнитов (контакторы, реле, контрольно-измерительные приборы), проводов и кабелей [10].

Согласно строительным нормам и правилам [НПБ 105-2003] в зависимости от характеристики и количества веществ обращающихся в производстве, производства подразделяются по пожарной и взрывной опасности на категории А, Б, В, Г, Д. Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий следует определять для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода, исходя из вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологических процессов. Потенциально опасные производства подразделяются на категории, указанные в [ППБ 01-03].

Помещение, где реализована автоматизированная система учёта и управления энергопотребления здания по пожарной и взрывной опасности относится к категории Г: Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; ГГ, ГЖ и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

При строительстве зданий и сооружений с учётом категории производства применяют строительные материалы и конструкции, которые подразделяются на три группы: сгораемые; трудносгораемые; несгораемые. Помещение, где реализована система автоматизации относится к трудносгораемым.

К противопожарным мероприятиям в помещении относят следующие мероприятия:

- помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, ведра, стендом с противопожарным инвентарем);

- средства связи в помещении должны быть постоянно исправны. К средствам сигнализации относятся ручные пожарные извещатели;

– каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнить номера телефонов для сообщения о пожаре; уметь пользоваться средствами пожаротушения.

Помещение обеспечено средствами пожаротушения в соответствии с нормами. На 100 м² пола имеется:

- порошковый огнетушитель ОП-5 – 1 шт.;
- углекислотный огнетушитель ОУ-5 – 1 шт.;
- ящик с песком на 0,5 м³ – 1 шт.;
- железные лопаты – 2 шт.

Каждый работник, заметивший загорание, задымление и другие явления, могущие привести к пожару в цехе, обязан:

- немедленно вызвать пожарную часть по телефону 01, 051 или при помощи ручного пожарного извещателя;
- вызвать к месту пожара начальника смены, начальника участка, начальника цеха;

Чрезвычайные ситуации могут возникнуть в результате разгерметизации линейной части трубопровода, возникновения взрыва и развитие пожара.

Основными факторами, способными привести к чрезвычайным ситуациям техногенного происхождения на объекте, являются:

- нарушение технологии строительства;
- отступление от проектных решений;
- нарушение правил эксплуатации и технологических регламентов;
- несанкционированные действия посторонних лиц;
- умышленное или непреднамеренное повреждение оборудования и технических средств;
- нарушение правил противопожарной безопасности и норм безопасности труда;
- ускоренная амортизация оборудования вследствие несоблюдения правил и норм технического обслуживания и ремонта;
- террористический акт.

К основным причинам чрезвычайных ситуаций природного происхождения на трубопроводе для транспортирования газа могут быть отнесены:

- повреждение технологического оборудования в результате производственного процесса;
- массовые лесные пожары и возгорания торфяников на прилегающих к объектам территориях;
- стихийные катастрофические тектонические процессы в районе размещения объектов системы.

Основными последствиями чрезвычайных ситуаций на объекте могут быть:

- загрязнение почв, поверхностных водотоков и подземных источников;
- уничтожение растительного покрова и загрязнение атмосферы;
- неблагоприятное воздействие на популяцию животных в районе расположения объекта.

При условии полного выполнения положений и требований технической документации по сооружению и эксплуатации шахт, реализации мер по эффективному и постоянному контролю качественного состава воздуха, соблюдения режимов деятельности в при технологическом процессе вероятность аварий сводится к минимально возможному уровню для объектов такого вида.

4.2.Социальные гарантии для работника

Социальные гарантии - это социально-экономические нормативы, гарантирующие населению признанный обществом уровень потребления, то есть обеспечивающие минимальный стандарт уровня жизни в соответствии с возможностями экономики.

Система социальных гарантий должна удовлетворять следующим требованиям:

- необходимый и достаточный объем;

- обеспеченность финансовыми и материальными ресурсами;
- адресность;
- учет территориальных особенностей;
- механизм доведения до получателя.

Социальные гарантии могут быть общенациональными, региональными, отраслевыми, а источниками их финансирования — федеральный бюджет, бюджетная система субъекта Российской Федерации и внебюджетные фонды. Социальные гарантии обеспечиваются гражданам страны в соответствии с Конституцией.

В отношении трудоспособного населения социальные гарантии должны обеспечивать условия трудовой и деловой активности, защиту прав и свобод наемного работника, нанимателя.

Для основной части населения наемный труд является главным источником средств существования, поэтому система социальной защиты трудоспособного населения должна обеспечивать гарантии в сфере занятости и оплаты труда. Для этого государством устанавливается минимальная оплата труда. В большинстве стран устанавливается минимальная часовая зарплата.

Социальные гарантии в отношении нетрудоспособного населения должны создавать условия для его потребления, учитывая особенности каждой группы.

Поступления из системы социальной защиты делят на три группы:

- денежные выплаты (пенсии, пособия);
- льготы, проявляющиеся в праве на снижение налогов, получение трансфертов в натуральной форме;
- социальные услуги, потребляемые бесплатно или по ценам, не имеющим экономического значения.

Социальные гарантии выполняют различные функции:

- алиментарно-компенсационную, которая обеспечивает поддержание потребления на определенном уровне;
- защитную, которая обеспечивает сохранение условий труда и проживания;

- стимулирующую, которая стимулирует получателя на рост трудовой и деловой активности.

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Существует проблема неэффективного использования электроэнергии в электроприводах большой мощности. Но путем введения нового оборудования эту проблему можно решить. В данной работе решается задача введения частотного преобразователя в роторную цепь электропривода вентилятора главного проветривания шахт. Соответственно целью данной работы является разработка имитационной модели регулируемого электропривода вентилятора главного проветривания шахт.

5.1. Планирование работ и их временной оценки

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического задания;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения работ.

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер. На каждый вид запланированных работ установлена соответствующая должность исполнителя.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень работ и оценка времени их выполнения

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Продолжительность выполнения работ, дней
Разработка технического задания и его выдача	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер	4
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	20
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер	3
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер	5
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	20
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер	25
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер	7
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	7
Оформление отчета но НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер	29
	10	Проверка полученных результатов	Инженер	2

Всего 123 дн., в том числе НР 11 дн.

НР участвует в проекте 9%.

5.2. Расчет затрат на научно-техническое проектирование

Таблица 4 – Месячный оклад работников

№	Проектная группа	Оклад
1	Инженер 9р	17000
2	Научный руководитель	30000

Смета затрат на проект ($K_{пр}$) включает в себя материальные затраты, амортизацию, затраты на заработную плату, на социальные нужды, прочие и накладные затраты.

$$K_{пр} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \text{ где} \quad (5.1)$$

$K_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ – затраты на амортизацию;

$K_{\text{з/пл}}$ – затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о}}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ – накладные затраты.

5.2.1. Материальные затраты

Материальные затраты принимаем в размере 1000руб. на канцелярские товары.

5.2.2. Затраты на амортизацию

Амортизация, это процесс переноса стоимости основных средств на стоимость произведенной и проданной конечной продукции по мере их износа, как материального, так и морального.

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ где} \quad (5.2)$$

$T_{\text{исп.кт}}$ – время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время (365 дней);

$C_{\text{кт}}$ – цена компьютерной техники (50000 руб);

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники (5 лет).

$$K_{\text{ам}} = \frac{115}{365} \cdot 50000 \cdot \frac{1}{5} = 15753 \text{ руб.}$$

5.2.2. Затраты на заработную плату

Заработная плата – вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные и стимулирующие выплаты.

ЗП исполнителей в месяц с учетом коэффициентов K_1 и K_2 :

$$ЗП_{\text{мес}} = ЗП_o \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ где} \quad (5.3)$$

$ЗП_o$ – месячный оклад работника;

$K_1 = 1,1$ – коэффициент, учитывающий отпуск (10%);

$K_2 = 1,3$ – районный коэффициент (30%).

$$ЗП_{\text{мес(инж)}} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб/ мес};$$

$$ЗП_{\text{мес(НУ)}} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб/ мес}.$$

В месяце 21 рабочий день. Тогда заработная плата $ЗП_{\text{ор}}$ каждого участка в соответствии план-графиком:

$$ЗП_{\text{ор}} = \frac{ЗП_{\text{мес}}}{21} \cdot n, \text{ где} \quad (5.4)$$

n – количество дней в проекте.

$$ЗП_{\text{ор}} = \frac{24310 \cdot 123}{21} = 142387 \text{ руб};$$

$$ЗП_{\text{ор}} = \frac{42900 \cdot 11}{21} = 22471 \text{ руб}.$$

Основные затраты на заработную плату исполнителей за весь период работы составит:

$$K_{з/пл} = 3П_{инж} + 3П_{пр} = 142387 + 22471 = 164858 \text{ руб.} \quad (5.5)$$

5.2.3. Затраты на социальные нужды

Затраты организации по обязательным и добровольным взносам в органы государственного страхования, пенсионного фонда, фонда медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, занятых в производстве продукции, работ, услуг в непроизводственной сфере в соответствии с порядком, установленным законодательством. Затраты на социальные нужды (отчисления) берем 30% от $K_{з/пл}$.

$$K_{с.о.} = \frac{K_{з/пл} \cdot 30\%}{100\%}; \quad (5.6)$$

$$K_{с.о.} = \frac{164858 \cdot 30}{100} = 49457 \text{ руб.}$$

5.2.4. Прочие затраты

Прочие затраты, принимаются в размере 10% от суммы: материальных затрат, затрат на амортизацию, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{пр} = \frac{(K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{з/пл} + K_{с.о.}) \cdot 10\%}{100\%}; \quad (5.7)$$

$$K_{пр} = \frac{(1000 + 15753 + 164858 + 49457) \cdot 10}{100} = 23107 \text{ руб.}$$

5.2.5. Накладные затраты

Затраты, не связанные прямо с производством отдельного изделия или вида работы и относимые на весь выпуск продукции. К ним относятся: расходы на содержание, эксплуатацию и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования; отчисления на социальное страхование и другие обязательные платежи; содержание и заработную плату административно-управленческого персонала; расходы, связанные с потерями от брака и простоев и др. Накладные расходы, принимаются в размере 200% от $K_{з/пл}$.

$$K_{\text{накл}} = \frac{K_{\text{з/пл}} \cdot 200\%}{100\%}; \quad (5.8)$$

$$K_{\text{накл}} = \frac{164858 \cdot 200}{100} = 329716 \text{ руб.}$$

Смета затрат на проект:

$$K_{\text{пр}} = 1000 + 15753 + 164858 + 49457 + 23107 + 329716 = 583891 \text{ руб}$$

Смета затрат на проект представлена в таблице 3.

Таблица 5 – Результаты полученных данных

№	Элементы затрат	Стоимость, руб.
1	Материальные затраты	1000
2	Амортизация компьютерной техники	15753
3	Затраты на заработную плату	125724
4	Затраты на социальные нужды	37717
5	Прочие затраты	18019
6	Накладные расходы	251448
	Итого:	449661

5.3. Экономическая эффективность проекта.

При нерегулируемом приводе изменение производительности вентилятора осуществляется путем изменения угла поворота лопаток направляющего аппарата, что приводит к непроизводительным затратам электроэнергии, потребляемой приводными электродвигателями, так как при снижении производительности вентилятора за счет увеличения угла поворота лопаток направляющего аппарата снижается эксплуатационный КПД вентилятора. Произведем оценку затрат электроэнергии нерегулируемого электропривода вентилятора ВЦД47У-Н по сравнению с регулируемым электроприводом вентилятора ВЦД47У-Р.

Для расчета экономической эффективности примем, что нормальная работа шахты обеспечивается при производительности вентилятора $Q_H=300 \text{ м}^3/\text{с}$ и депрессии $H_H=3250 \text{ Па}$ за счет увеличения угла поворота лопаток НА до 60° . При указанной производительности и давления установка главного проветривания работает продолжительное время.

После проведения массового взрыва для проветривания шахтного поля вентилятор переводят на максимальную производительность, т.е. направляющий аппарат открывают полностью (угол поворота лопаток направляющего аппарата $Q = 0^\circ$). Производительность и депрессия в режиме проветривания ориентировочно равны $Q_P = 427 \text{ м}^3/\text{с}$, $H_P = 5800 \text{ Па}$. В данном режиме установка главного проветривания работает от 16 до 20 часов (в зависимости от условий проветривания).

В таблице 6 приведены зависимости мощности на валу вентилятора при регулировании производительности (Q) за счет изменения угла поворота лопаток НА (P_{HA}) и изменения оборотов вала вентилятора ($P_{об}$), найденные по аэродинамическим характеристикам вентилятора (приложение Б), а также разница мощностей на валу вентилятора при двух способах регулирования $\Delta P = P_H - P_P$.

Таблица 6 – Зависимости мощности

Производительность Q , $\text{м}^3/\text{с}$	275	300	325	350	375	400	425
Мощность вала P_H , кВт	1813	1875	2030	2100	2250	2500	2920
Мощность вала P_P , кВт	963	1188	1510	1713	2000	2388	2920
Разность мощностей ΔP , кВт	850	688	520	388	250	113	0

Из Таблицы 5 видно, что в нормальном режиме работы вентилятора при производительности $Q_H = 300 \text{ м}^3/\text{с}$ электродвигатели вентилятора с нерегулируемым электроприводом обеспечивают мощность на валу вентилятора $P_H= 1875 \text{ кВт}$, а с регулируемым электроприводом $P_P = 1188 \text{ кВт}$, что на 687 кВт меньше мощности P_{HA} нерегулируемого электропривода. При средней

продолжительности работы установки главного проветривания
непроизводительные затраты электроэнергии в сутки

$$N_{\text{дз}} = \Delta P \cdot t = 687 \cdot 24 = 16512 \text{ кВтчас},$$

тогда как в год непроизводительные затраты электроэнергии ($N_{\text{гз}}$) в нормальном режиме работы вентилятора составляют

$$N_{\text{гз}} = N_{\text{д}} \cdot 365 = 2752 \cdot 365 = 6018120 \text{ кВтчас},$$

что в денежном выражении при стоимости 1 кВтчас 2,17 рублей составляет сумму

$$\mathcal{E} = 6018120 \cdot 2,17 = 13059320 \text{ рублей}.$$

Путем регулирования скорости вращения на вентиляционных установках главного проветривания шахты можно снизить годовые энергозатраты на величину $N_{\text{гз}}$ за счет применения регулируемого электропривода вместо нерегулируемого электропривода с направляющим аппаратом в вентиляторе главного проветривания шахт и экономить более 13 млн. рублей в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной магистерской работы является исследование электропривода вентилятора главного проветривания шахт на базе машины двойного питания, обеспечение требуемого диапазона регулирования. Были рассмотрены различные виды вентиляционных установок, из которых в качестве исследуемого центробежный вентилятор главного проветривания шахт.

Исследования по применению машины двойного питания в мощных механизмах проводились с помощью вентилятора главного проветривания шахт ВЦД47У.

Результатами расчета являются параметры схемы замещения двигателя, статические механические и электромеханические характеристики. Также были построены вольт-частотные характеристики для закона регулирования $U/f^2 = \text{const}$, которые были использованы для моделирования частотно-регулируемого асинхронного электропривода вентиляционной установки. Работа двигателя обеспечивает диапазон регулирования 1:10.

Так же была разработана имитационная модель системы асинхронного частотно-регулируемого двигателя для вентиляционной установки главного проветривания шахт на базе машины двойного питания. В результате моделирования были получены переходные характеристики скорости, момента и токов, анализ которых показал, что применение машины двойного питания в мощных механизмах, подобных шахтным вентиляторам главного проветривания, позволяет обеспечить номинальные характеристики двигателя при управлении по роторной цепи.

Расчет экономической эффективности, показывает, что, электропривод вентилятора главного проветривания шахт на базе машины двойного питания позволяет экономить значительную величину электроэнергии с минимальными первоначальными затратами при регулировании производительности за счет изменения оборотов вала при полностью открытом направляющем аппарате. Это

объясняется существенно меньшим напряжением ротора электродвигателя в сравнении с напряжением статора, что существенно отражается на цене.

В разделе безопасности и экологичности проанализированы опасные и вредные производственные факторы, рассмотрена социальная ответственность, даны практические рекомендации по технике безопасности и производственной санитарии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивановский И.Г. Шахтные вентиляторы: Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. – 196 с.
2. Ботвинник М.М. Асинхронизированная синхронная машина. М.: Госэнергоиздат, 1960. 38 с.
3. Ботвинник М.М., Шакарян Ю.Г. Управляемая машина переменного тока. М.: Наука, 1969. 140 с.
4. Вдовин В.В. Адаптивные алгоритмы оценивания координат бездатчиковых электроприводов переменного тока с расширенным диапазоном регулирования: Рукопись. – Новосибирск: НГТУ, 2014 – 244 с.
5. Ляпин А.С. Модельное исследование машины двойного питания с токовым управлением // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 4. С. 731–737.
6. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристики электроприводов переменного тока. Часть 1. Асинхронный двигатель: Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.–136 с
7. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.8. Асинхронный частотно – регулируемый электропривод: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 488 с.
8. ГОСТ 12. 0. 003 – 74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
9. ГОСТ 12. 1.004 – 91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92)/
10. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.
11. ГОСТ 12. 1. 030 - 81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
12. ГОСТ 12. 1. 010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

13. ФЗ №123 от 22.07.2008г. "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

14. ГОСТ 12. 1. 012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

15. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

16. ГОСТ 12. 1.005 – 88 (с изм. №1 от 2000г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).

17. ГОСТ 12. 1. 003 – 83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

18. ГОСТ 12. 1. 007 – 76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изм. 1990г.).

19. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

20. ГОСТ 12. 1. 038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

21. ГОСТ 12. 1. 019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

22. ГОСТ 12. 1. 030 - 81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.

Приложение А

Раздел (5) Mine fans

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Миролюбов Владимир Анатольевич		

Консультант кафедры ЭПЭО _____:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Краснов И.Ю.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пташкин А.С.	к.ф.н.		

Introduction

It is known that more than 60% of all electricity generated in the world is used by electric power. These are electric power plants (fans, pumps, transporters, compressors, etc.), as well as electrical drive of various technology installations which do not require a large range of regulation and high speed and are equipped with AC power. Usage of DC engines in such installations, capable of building relatively simple management and with suitable adjustment characteristics are generally limited by disproportionately high operating costs, inability to work in volatile, polluted and aggressive environments, and unreliable reliability [7].

Most processes require the ability to regulate incoming mechanical capacity. It is usually performed by a managed change in the process itself in an unregulated power drive. For example, in compressors, pumps, fans-by closing and opening dampers, in metal-and woodworking machines-using mechanical gearboxes. However, such technical solutions could not be considered cost-effective. It has been shown that it is possible to save up to (30 ... 60) % of the electricity consumed when using a controlled electric power drive compared to the unregulated. In addition, the life of the mechanical nodes is increasing by reducing the start and torque.

The civilized world is actively moving towards the use of controlled AC power in view of the deficiencies in the unregulated electric power supply. This is mainly due to the development of an appropriate element base: power-driven, fully controlled semiconductors, microelectronics and microprocessors, as well as the establishment of theoretical frameworks-the theory of vector management of alternating current electric power, the theory of automatic control of multiple non-linear objects. All of this allows for the building of efficient AC power systems.

The wound-rotor induction motor and squirrel-cage motor are our machines of medium-and high-power alternating currents in industry.

Research on the existing electrical equipment of domestic industries shows the widespread use in powerful (more than 300 kw) mechanisms with severe launch

conditions (electric power transmission fans of the main ventilation of mines and mines, motor vehicles for the transport of hoists, electric motors of the main movement of rotary cement furnaces, etc., of the asynchronous engines with a phase rotor. The use of an asynchronous engine with a phase rotor with resisting relay-contactor control systems in such mechanisms is due to the high loading capacity of asynchronous motors with a phase rotor (overload factor of 2.5, (as in DC engines), as well as ease of regulation by the introduction of additional active resistance into the chain. From a theoretical point of view, for the electric control of the frequency of rotation, the wound-rotor induction motor may out the coil of the rotor, and the stator winding is connected to the frequency converter, thereby obtaining a well-known power on the basis of an squirrel-cage motor. However, most powerful asynchronous engines with phase rotors are powered by an industrial network of 6-10 kw, which will require a frequency converter with appropriate output line voltage. The current level of power semiconductor electronics development requires the construction of such a converter on the basis of a multi-level high-value frequency converter. A cheaper option is to set the frequency converter into a rotor chain whose linear stress is typically 500-1000 v. Stator Winding is powered by an industrial network of 6-10 kw. This inclusion of an asynchronous engine with a phase rotor is called " double fed machine" (Figure A.1).

This power with the frequency converter in the electric motor rotor may operate in both brake and motor modes. The frequency converter must ensure that the sliding power is returned from the rotor chain of the asynchronous electric motor to the feeds network in motor mode. The return of the sliding power to the feeds network provides significant energy savings at the start and control of the velocity of the asynchronous motors with the phase rotor compared to via speed control.

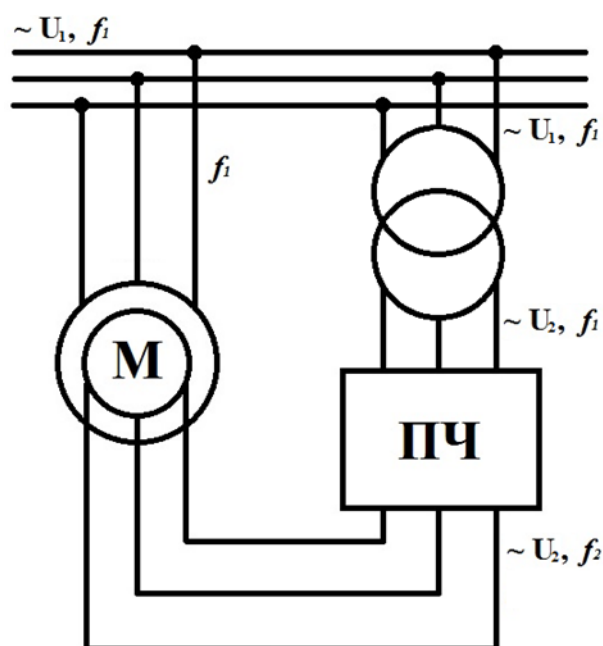


Figure A.1 – Double fed machine scheme

In order to ensure the regenerative braking mode, the power flow direction in the electric motor rotor must be reversed in relation to the direction. The moment of the engine changes the sign and the electric motor will switch to regenerative braking mode. The return of the energy secondary the masses of loads in the feeds network through the regenerative braking mode reduces the power loss and reduces the braking time of the installation.

The development of the theory of application double fed machine, principles of hardware performance of the actuator on the basis of these machines began in the middle of the last century. Fundamentals of the theory presented in the works of Soviet and Russian Scientists M. M. Botvinnik, N. N. Blockage, Yu. G. Shakaryan, I. A. labunets, O. S. khvatova and others. Theoretical studies and the effectiveness of the machine dual power were confirmed at industrial installations of big capacity, created in the USSR [2].

The modern power of the alternating current, typically includes a two-tier-frequency converter, rectifier in which is loaded into an autonomous inverter voltage, working in a wide-pulse modulation mode. The specified frequency converter device allows, regardless of the mode of operation of the power, to provide a high power chain capacity. In order to ensure that the engine is required to operate in prolonged

recuperative modes instead of unregulated rectifier, it is advisable to use the active rectifier of stresses working in the stabilization of the DC which provides the required voltage level of the DC regardless of the distribution of the supply chain, thus providing the required range of rotation control. The active rectifier of the voltage, as well as the ability to generate sinusoidal' current that is consumed from the network with the required $\cos\phi$. A phase force sinus filter is installed to obtain the best form of rectifier voltage input.

Mine fans

Mine – underground mining enterprise, technology of which involves the need for workflows, in which the atmosphere of the mine workings, a large amount of harmful gases and dust. The situation is exacerbated by additional release of gases from minerals and rocks. There is a need to combat these hazards by dilution to safe concentrations is supplied to generate the air. Ventilation – the process, without which normal work of mine is inconceivable even for the shortest period of time.

The flow of air in workings of the mine shall be continuous and in full the required amount. This requirement necessitates the use of powerful, reliable machines. Moreover, safety regulations stipulate the need to ensure the possibility of rapid replacement of the failed fan redundant. For gassy mines this requirement is necessary for other recommendations as well.

Emergencies in mines (fires, explosions of gas and dust, collapse of rocks) often require management actions air stream in quantitative terms (weakening of the jet, the gain) and the change in the reign of her movements.

The main mine fans to ensure normal ventilation of the mine or its ventilation in an emergency with reasonably high performance, reliability and efficiency are to be manned by additional structures, devices and mechanisms.

The air in underground mining mines due to its limited volume easily becomes by various harmful substances of a man-made and natural nature. The exceedance of permissible concentrations of harmful substances is hazardous to the life and health of

workers and limits the ability to conduct production processes. The main way to control harmful substances in underground mining is to mix them with fresh air from the surface in the generation to allowable concentrations.

We cannot have a mining operation in our time without a system of forced ventilation. Stopping the supply of fresh air into the mine leads to the interruption of the production processes of the entire technological complex of the mine or mine, the cessation of all machinery and machinery and the withdrawal of people to the surface. The life and safety of the people in the mine depend entirely on the unavoidable and reliable operation of the ventilation system.

The emergence of air in underground mining mines is due to the presence in this volume of zones with a high energy level compared to the level required for the state of peace. The air moves from the high-energy zone to the lower-level zones [1].

The creation of zones with different levels of energy requires a source of third-party forces. In the end, the intensity of the air flow depends on the level and availability of the force.

Of all these forces that can be used in mine conditions, attention is drawn to the main forces that arise from the operation of the fans and the forces associated with the law of gravity. The forces associated with the law of gravity are the natural traction that arises from the movement of minerals and large amounts of water in slanted earnings.

The main source of the force is the fan because of the need to have a reliable and controlled source of power in the mine.

A fan is a mechanical installation that creates the difference of pressure in the ventilation network at the inlet and exit, which is why the air masses are moving.

Fan installations are widely used in all industrial sectors. Electric power is known to consume a large amount of electricity produced in our country. For example, in the mining industry, the power supply of ventilators that provide fresh air to the mine consumes up to 10% of the electricity consumables the entire technological complex. For this reason, the development of economically efficient fans and their proper operation are of great economic importance [1].

The ventilation system is a technical system that supports the values of air conditions in limited volumes (spaces, mining, etc.) in accordance with the technological requirements and the prescribed sanitary standards. The ventilation system consists of four main subsystems: ventilation, ventilation, ventilation, and control and control.

Mine ventilation networks are a combination of a large number of underground mining activities, which in turn differ in the variety of parameters influencing the aerodynamics of these networks. And since these settings change constantly, the aerodynamics of the nets change accordingly.

The shape of the cross section of the work can vary greatly, the magnitude of this section ranges from 3.0-4.0 to 30.0-40.0 m². The length of work varies widely, sometimes to several thousand meters. The size and type of the solid are determined by the degree of roughness of the work walls, which influences the magnitude of the aerodynamic resistance and also changes in large limits.

The air users in the mine are very diverse in terms of both the time of supply and the amount of air required. As a consumer, a whole or large part of the mine may be included as well as a separate development.

All these conditions have led to the creation of a group of specialized mine fans that meet the demands of the mining industry in their parameters.

The main difference between Shaft fans and fans that are applied in other industries is the high performance when the pressure parameters are quite low. The performance of these fans may be up to $500 \div 600 \text{ m}^3/\text{C}$, the value of the pressure difference generated by the shaft fans shall be limited to $0.5 \div 10.0 \text{ kPa}$. The fan's air compression rate is 1.1. This allows you to count the air incompressible in calculations related to the operation of the fan.

The purpose of the mine fans is conditionally divided into three groups:

- Main fans that service the ventilation network of the whole mine or most of it;
- Auxiliary fans serving a large part of the mine ventilation network or working in conjunction with the main;

- Local ventilation fans, providing air with a separate slaughter, the generation or the workplace.

The same fans may be used as the primary and secondary fan for large sizes. Local ventilation fans form a separate group of fans with small size, low drive power, and usually a low performance.

Shaft Fan Designs

All seniors for the mining sector fans are designed for the so-called "paddle power spare parts". In this type of fans, the rotary rotor is converted to potential and kinetic, in turn reported to the floating air.

Paddle fans according to the nature of their air flow and the shape of the rotor (work wheel) are divided into axial and radial, the latter are more known as centrifuge.

Axle fans.

The axial fan (Figure A.2) consists of a working wheel 1, on which the profile (in the form of the wing of the airplane) of Blades 2 is fixed; The working wheel rotates in a cylindrical body or, as it is often called, enclosure 3. A specified apparatus with fixed blades 4 is placed behind the work wheel.

The rotating working wheel uses the blades to transmit the power of the transmission to the air to be moved. The blades of the wheels are made of steel or plastics (for small fans).

The blades of the work wheel may have an asymmetrical or symmetrical profile. Axial ventilators with symmetrical rotor blades are reversed, as their performance does not change when the work wheel rotates to the reverse. Fans with non-symmetrical rotor blades are not of this quality, and their performance in changing the rotation direction of the work wheel is drastically reduced, but these fans have good aerodynamic characteristics and a higher coefficient of useful action. The specified machine provides a smooth air transition from the rotor blades to the diffuser or network and partially converts dynamic pressure in a moving airflow into static pressure.

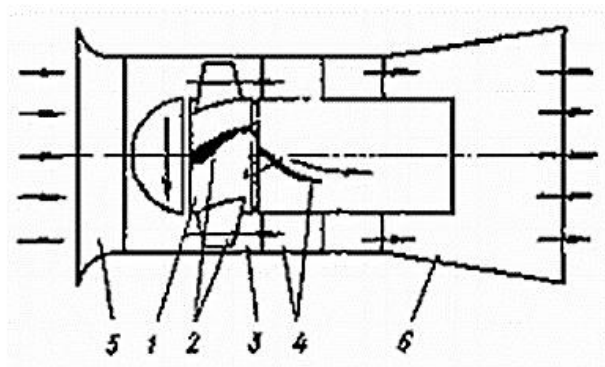


Figure A.2 – Center fan scheme: 1-working wheel; 2-Blades of the work wheel
3-Enclosure; 4-Specified apparatus; 5-collector; 6-Diffuser

Two cones are introduced into the design of the coal vents, the purpose of which is to reduce the aerodynamic losses caused by abrupt changes in air speeds. The front cone is installed in the input collector, in front of the working wheel or steering apparatus, rear-after a straightening apparatus, in front of the diffuser, or in the ventilation network.

In the axial fans the direction of the airflow is the same as the rotation axis of the work wheel. The air is entered into Reservoir 5, passing between the rotor of the rotary working wheel, then entering the specified apparatus, from there to the diffuser 6, and emitted into the atmosphere (when the suction fan is running).

Axial fans can be single-stage (single impeller) and two-stage. In the latter case, the fan shroud has two stages, operating in series and with each having its impeller.

Between impellers is the intermediate guide vanes. Structurally, the guide apparatus consists of a stationary profile blades or profiled blades with adjustable installation angle. The purpose guiding device – the air supply to the impeller, installed him in a more effective direction, and the conversion of a significant portion of the dynamic pressure into static pressure. Straightener is installed in the second impeller in the course of the jet. Both stages can be on the same shaft or on separate shafts. The presence of two stages allows the fan to develop a higher pressure.

Centrifugal fans.

The basis of the fan (Figure.A.3) is the impeller 1, between the front and rear wheels is fixed to a wing profile of the blade in such a way that their front edge is on the circumference of smaller radius than the output tail. The impeller can be with blades

curved forward in the direction of the wheel, radial, and backward, the appointment of the impeller to transfer energy to drive the fan floating the air. The impeller rotates in the spiral casing 2, made of sheet steel. The spiral casing is designed to supply air in a certain direction and partial conversion of dynamic pressure in the air stream to static pressure. Air is sucked into the fan through the inlet manifold 3, which is installed not rotating, just rotating each about its axis the blades 4 of the guiding unit. The guide device is designed to supply air to the impeller at a certain speed and a certain angle, it can adjust the working modes of the fan.

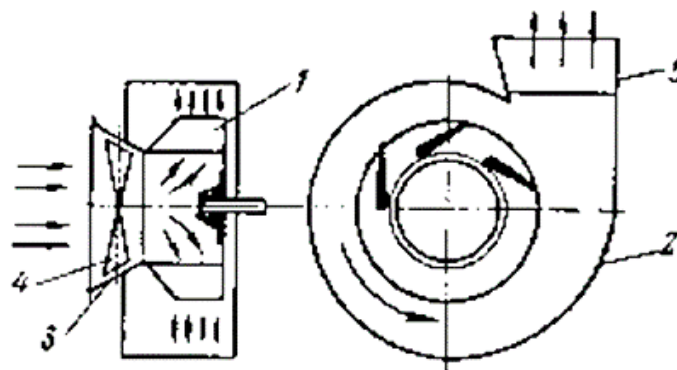


Figure A.3 – Scheme of the centrifugal fan 1– impeller; 2 – volute casing; 3 – inlet manifold; 4 – guide vanes; 5 – diffuser.

In the impeller the air enters parallel to the axis of the fan shaft, then under the action of the thrust developed by the blades, and the centrifugal force turns 90° , passes between the blades is ejected in the peripheral part of the casing and out through the diffuser 5 into the atmosphere (when the fan on the suction). The diffuser is an additional dynamic pressure transducer in the stream at the outlet of the casing in the static pressure.

Centrifugal fans can be run with single or double suction. The coaxial impeller is mounted on the shaft of the fan in the latter case. Air enters the impeller from both sides, two guide vanes. Double suction allows you to unload the shaft bearings from the axial pressure and reduce the resistance of moving the air in the suction part. The latter circumstance allows to increase the performance of the centrifugal fan.

Advantages of axial fans:

- relative ease of construction;

- easy installation, smaller area for installation;
- easy reverse air jets (most modern axial fans do not need to reverse channels);
- relatively high performance;
- higher efficiency;
- ease of use of fans this type of as mobile PMF.

Advantages of centrifugal fans:

- high mechanical reliability and longer service life associated with the use of lower speeds of rotation of the impeller;
- high stability and reliability of operating modes associated with the characteristics of these fans;
- less noise when working;
- relatively high depression;
- large depth control;
- less sensitivity to polluted air.

Manufactured for the mining industry fans unable to operate equally effectively on both the suction and the injection.

Parameters of coal mine fans

The fans are produced to work in systems of ventilation of mines, differ not only by design and purpose, but also their settings that lead to their use in certain circumstances.

The main parameters of the fan are capacity, pressure, impeller diameter, power input, coefficient of performance, the circumferential speed of the impeller, the angle of rotation of the impeller blades and (or) the guide device.

These parameters determine the possibility and expediency of application of specific fan for the ventilation system.

The concept of "depression" is more often used instead of the term "pressure" in mining practice to the parameters of the fans.

Conventionally, this group can distinguish the operational parameters – productivity, and depression as the main. These two parameters are combined into one General concept – the mode of operation of the fan. The other three parameters – the diameter of the impeller, the circumferential speed of rotation of the impeller and the angle of rotation of the impeller blades and guide vane are called adjusting. The change in the value of any of them leads to a change in operating parameters. The shaft power of the fan and its efficiency can be attributed to the derived parameters dependent on the set the other parameters of the fan.

Fan performance (Q_v). Fan performance refers to the amount of air passing through the fan when it is working in a unit of time. Performance is expressed in m^3/sec or m^3/min , with the first option being used for aerodynamic calculations. The performance of the mine fans varies greatly. Fans used as local ventilation fans have the performance of 2.0 - 20.0 m^3/sec , used as auxiliary and main - 20.0 - 600,0 m^3/sec .

A Depression fan (p_v). The depression of a fan is the difference in the air flow of static pressures at the inlet and exit of the fan. Base unit used to express Depression-PA (N/m^2). Other pressure units, kgf/m^2 and mm of water, are used in the technical literature. The art. The ratio of all units used may be represented by the expression $1\ kgf/m^2 = 1\ mm\ water$. Art. = 10Pa

The amount of depression developed by the mine fans varies within 0.5 - 10.0 kPa.

The diameter of the working wheel (D_f). The diameter of the working wheel is a structural parameter and cannot be changed during the life of the fan. The shaft fans are produced with the diameters of the working wheel 0.3 - 1.2 m (local ventilation fans) and 1.1 - 5.0 m (auxiliary and main fans).

The rotation speed of the work wheel (n). Typically refers to the number of times a work wheel is in a unit of time (min^{-1}). Due to the large size of the fans and the need to ensure the mechanical strength of the latter, the linear velocity on the wheel rim (m/c) is limited. The mountain fans are operated at speeds from 250 min^{-1} (with a working wheel diameter of 4.0, 5.0 m) to 3000 min^{-1} . Changing the speed of the fan's

work wheel changes its operational parameters. This is used to adjust the fan's operating regimes in the case of adjustable drive speed.

The rotation angle of the work Wheel blades (θ). The rotation of the work wheel blades is the angle formed by the chord profile of the work wheel and the rotation plane of the last. According to the efficiency of the axial fans, this angle may fluctuate within the range of $15 - 45^\circ$, altering the basic parameters of performance and depression of the fan. Therefore, the rotation angle of the work wheel blades is an adjustment parameter. In the first designs of the axial fans of the work wheel, were to the last stationary (welding), these fans did not have the ability to regulate modes. Modern mine axial fans are typically released at an adjustable angle of blade installation.

Moreover, the latest designs of the mine fans provide mechanisms for the simultaneous and smooth modification of this angle. This type of fan regulation is called rough throttling. The rotation angle of the steering apparatus's blades (QNA). The angle of rotation of the Blades of the guide is assumed to be between the chord of the blade profile and the plane passing through the work wheel axis. This fan parameter is the same as the setting. The Blades of the guide can be rigid, in which case there is no adjustment capability (fans VOKD and earlier), and may have an adjustable angle of installation. The revolved angle of the guide blades has all the modern centrifugal fans and the axial fans of the VOKR and VOD series. Typically, the angle of rotation of the blades can change within the $0 - 90^\circ$. Rotating the paddle of the steering apparatus from the centrifugal fans on the 90° actually overlap the inlet of the manifold, minimizing the performance of the fan and, naturally, the load on the fan shaft. This technique is used when running large fans. Adjusting the work parameters by rotating the paddles of the guide is called fine fan regulation.

Fans of main and local ventilation

Main ventilation Center Fans

The first development of aerodynamic fan designs in our country was performed by the Central aero-hydrodynamic Institute at the end of the twentieth years, and the

first fans, based on these designs in the form of industrial series, appeared in the middle of the thirtieth century.

Axial fans in the years of the development of the mining industry, the country has been widely disseminated because of the undoubted merits of this type-high productivity with relatively low depression, compactness and ease of installation and operation.

The current axial fans naturally exceed the first development in many settings. Model varieties and sizes allow this type of fan to be used for a variety of purposes. They can be used to ventilate a single work, to ventilate a part of the mine or to operate as the main fan in a large mine. A number of axial fan types cover the range of working wheels 300 - 5000 mm.

Main ventilation Centrifugal Fans

The principle of operation and design of the centrifugal fans were developed and first applied by Russian engineer A.A. Sablukovym at 1832. He was built and applied a fan to work in the Chyhyryn mine Altay.

However, the development of modern mine centrifugal fans has in due course lagged behind the development of axial fans, as centrifugal fans work well when there is a need for high depression, which was not the case in the first period of development of underground mining of minerals.

At the moment, centrifugal fans have been widely distributed because of the increased depth of the mines and the aerodynamic resistance of their networks.

The industry's centrifugal fan models cover a number of types with a working wheel diameter of 0.8 to 5.0 m.

Local ventilation fans

The main fans generally provide all the mine's needs in the fresh air, but they guarantee the movement of the airflow only through the downstream earnings of the mine ventilation network. At the same time, there is a large number of disadvantaged consumers in any mine. These users are primarily the develop of the production areas under development, the various technology chambers, in some cases the space and

others. The air to these consumers may be made by means of special fans, called Local ventilation fans (GWP).

The local ventilation fan shall be different from

Fans discussed above. The conditions for their installation, work and the requirements for safety regulations (BOP) dictate the differences. The value of the work parameters and the design features of the local ventilators are determined by the differences. The local ventilation fans shall be compact because they are placed in the earnings, the area

Special cameras are only made for large fans with a performance of 10 m³/C or more. GWP work always with the piping they serve (or give) air to the consumer. Piping can have different diameters and constructs. The ability to reliably connect to piping is another feature of these fans. In coal mines, the ventilated local ventilation of the generation and construction of the latter is likely to be methane-free. This circumstance predetermines another characteristic of local ventilation fans: they must have an ex performance.

Fan development trends

The vast majority of mines and mines in the country are equipped with the main fans operating on the basis of the fans of the Water series and the VC (WDC). For a long period of operation, these fans have been clarified for their high performance, reliability, efficiency and durability. An examination of the performance of these fans during the maintenance period allowed for the modernization of the most common models and the development of improved modifications, already mentioned in the relevant sections of the manual. The directions for further improvement of the mine fans have been identified. A priority in the development of the fan is undoubtedly the development of new aerodynamic schemes with the capacity to implement:

- Extending the range of operational parameters (debit and pressure) of models to those that allow the use of fan units in the context of changes in the technology and parameters of the mining industry;

- Extending the high-value zone of fans in the area of useful use of these fans;
- Smooth performance management systems in automatic mode, depending on the specified values and external conditions based on modern technology.

The main fans, their transmission, the control equipment, the control and metering equipment, the instruments and much more are installed in one special heated building located in one of the main mining works. The location of the building depends on the fan's intake or injection. The fan building shall be leak-proof, light and spacious. In the case of the ventilation of the shaft, the fan building is often combined with a heating installation located on the suction side of the fan. In this case, the necessary depression fan (200, 300 PA) is increased slightly, but the need to build a special building for radiator and to install a special fan is obviated.

If you have two fan units in the fan installation, you need to create a channel system that connects the fans to the exterior atmosphere and the shaft vent network. This special channel system should ensure the independent operation of each of the fans on the mine ventilation network and make it impossible for both fans to operate simultaneously. This system includes the proper channels, switching devices, drive and control mechanisms for switching devices and automation equipment.

A reversal system is provided with a shaft blower, manned by no reversing fans (centrifugal and axial VOKD series) to provide control of the direction of air jets. The system consists of additional direct and drainage channels connecting the input and output parts of the fans with the mine ventilation network and the reconnecting devices with the transmission and control apparatus.

The fan channels of all destinations are located in a small area of industrial is associated with the limits on the size of their sections and the radius of the fillets. For the construction of the canals, concrete, brick or other durable and solid materials are used. In small fan installations, the channels are made of metal and plastics. The material of the vent walls shall not be porous and the air shall be skipped. Connections of parts of the installations are carefully sealed. Channel walls are provided with a smooth surface by aligning and covering the special trains. Channel transitions are made smooth in all planes, and local resistance in the form of sudden cutbacks,

extensions, sharp turns, and sharp edges are excluded. Exits from the canal to the fan building and the atmosphere are equipped with locks and sealed devices.

The re-entry of the jet from the fan into the atmosphere is used with a smooth reduction in the speed of the air to reduce the loss of speed with the ventilation of the shafts. A smooth decrease in speed is achieved by the use of special units of the fan-set-diffusers, which are a pyramid or V Bell, which is drop in the direction of the Jets during normal ventilation.

The optimum angle of the diffuser's opening is $9, 12^{\circ}$. The shaft fans, manned by the axial fans, are supplied with noise silencers.

The operation of the mine fan installation is inevitably linked to loss of energy in the form of pressure loss to overcome the resistance of the most fan installation to the airflow and the loss of performance in the form of leakage through the installation devices and the canal wall. In practice, the pressure loss can reach 15-30% of the fan's depression, and the leakage is 5-20% of its performance. These losses will inevitably affect the cost of operating costs, in particular the electricity consumption for the entire life of the installation. Improving the economic efficiency of a coal-mine fan plant is built into the entire process of its creation calculation of the ventilation of the mine, the definition of the parameters of the main fan installation, the selection of equipment, the design of ventilation system systems, the design of the fan building, the leakproofness of the components of the installation, and the lowest It should be borne in mind that savings in quality would inevitably lead to subsequent losses in operation.

Mine fan installations are complex working together with systems of the two air ventilation units, ventilation ducts and reversing device for supplying air to the fan. The fan units are fitted with powerful and complex machinery; the system fan channels have auxiliary devices operating together or independently. At start-up of units, it is necessary to perform large number of operations with the observance of a certain sequence, eliminating the possibility of errors. To ensure the normal operation of the fan installations on the network in the appropriate mode required to support a large number of parameters of the ventilation unit – the temperature of the bearings of the

drive and the fan rotor, temperature of the windings of drive shaft revolutions, the mode of operation of the actuator, lubrication system, etc.

All this leads to the need to have a part of the mine ventilation unit a set of equipment that automatically control the installation, including remotely, and monitor all the necessary parameters.

Control equipment, automation and control of a mine fan installation is a set of complex, integrated systems, supplemented by auxiliary devices and mechanisms. The systems operate in constantly changing combinations with a definite sequence of operations, realizing the execution of this sequence without operator intervention.

References:

1. Ivanov I. Mine fans: training. Allowance. Vladivostok: Ed. DVG TU, 2003. -196 p.
2. Lyapin A.S. Model study of the double fed machine with current control // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. - 2016. - vol. 16, no. 4. - pp. 731–737.
3. Vdovin V. V. State observer for sensorless vector control of doubly fed induction motor // 14 International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 2013), Altai, Erlagol,–Novosibirsk : NSTU, 2013. – Pp. 382–388.
4. Vdovin V. Adaptive algorithms for estimating the coordinates of the undetected AC power transmission with the extended control range: the manuscript. - Novosibirsk: NSTU, 2014. - 7 p.

Приложение Б

Аэродинамические характеристики вентиляторов с нерегулируемым (ВЦД47У-Н) и регулируемым (ВЦД47У-Р) приводом показаны на рисунке Б.1 А и Б.

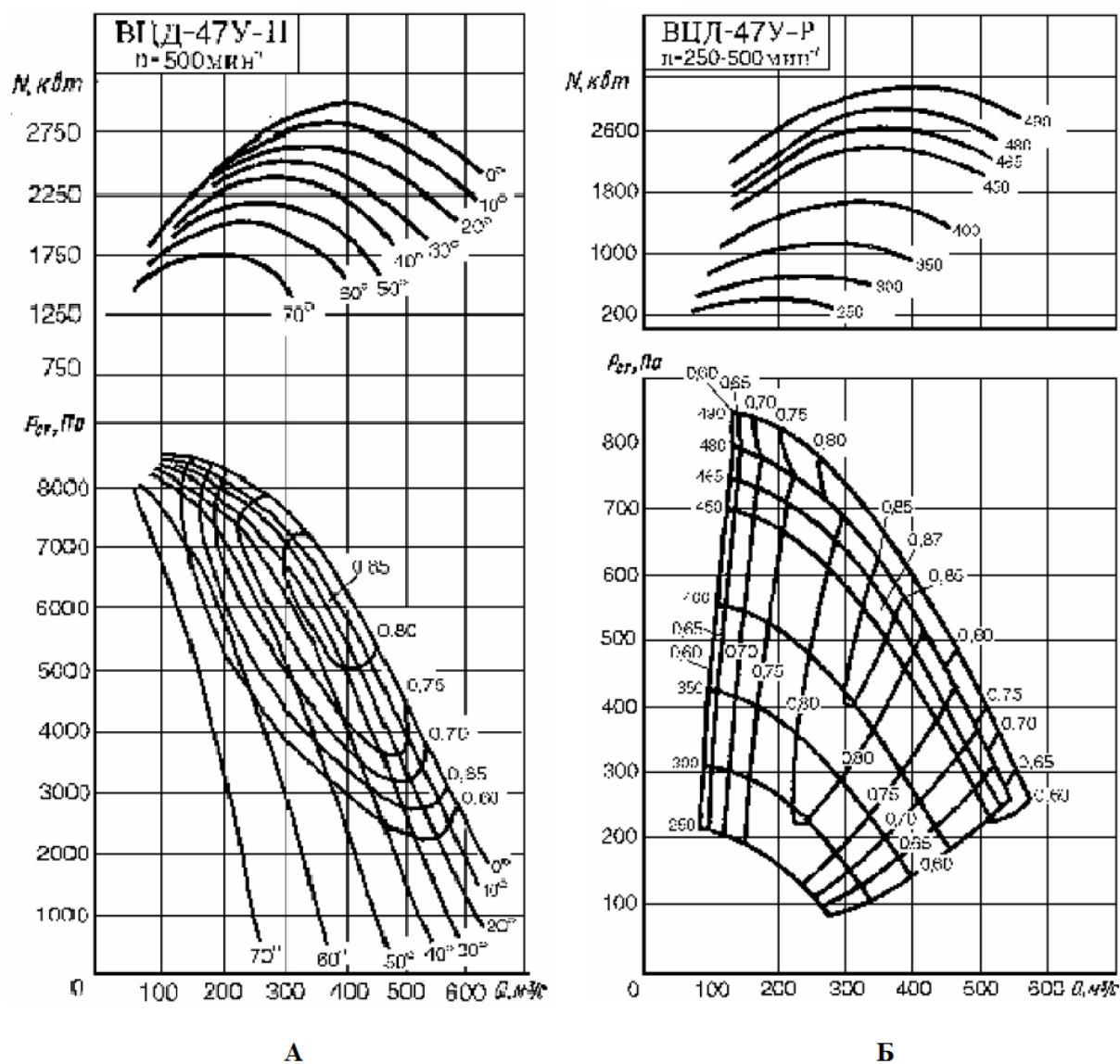


Рисунок Б.1 - Аэродинамические характеристики вентиляторной установки ВЦД47У: А - с нерегулируемым приводом при $n = 495$ об/мин и различных углах установки НА; Б - с регулируемым приводом, изменяющим обороты вала вентилятора.